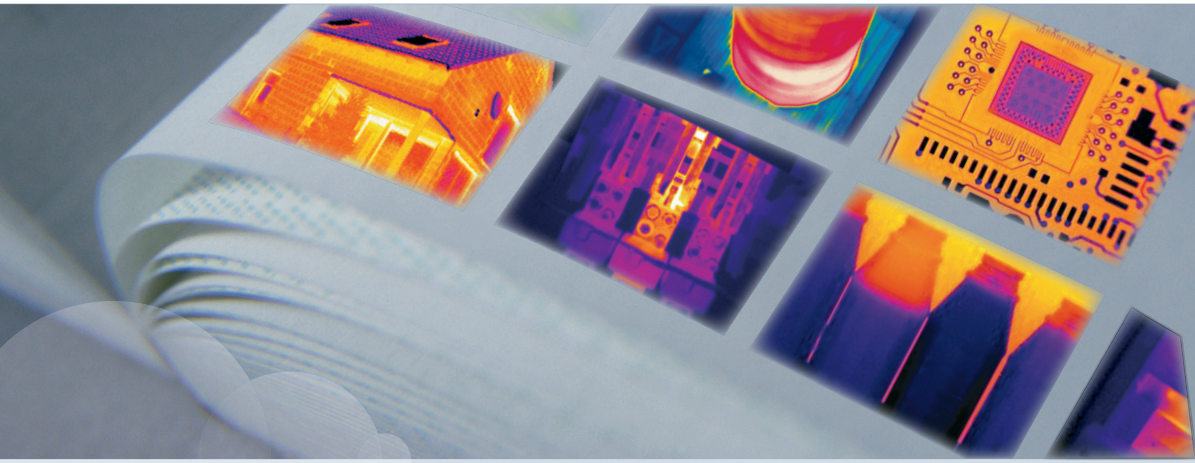
Benutzerhandbuch



FLIR bXX series
FLIR iXX series

Publ. No.	T559063
Revision	a460
Language	German (DE)
Issue date	July 1, 2010

Benutzerhandbuch

Publ. No. T559063 Rev. a460 – GERMAN (DE) – July 1, 2010

Haftungsausschluss

Für alle von FLIR Systems hergestellten Produkte gilt eine Garantie auf Material- und Produktionsmängel von einem (1) Jahr ab dem Lieferdatum des ursprünglichen Erwerbs, wenn diese Produkte unter normalen Bedingungen und gemäß den Anweisungen von FLIR Systems gelagert, verwendet und betrieben wurden.

Für Produkte, die in von FLIR Systems an den Erstkäufer gelieferten Systemen enthalten sind, jedoch nicht von FLIR Systems hergestellt wurden, gelten, falls vorhanden, die Garantiebestimmungen des entsprechenden Zulieferers. FLIR Systems übernimmt für solche Produkte keinerlei Haftung.

Die Garantie gilt ausschließlich gegenüber dem Erstkäufer und ist nicht übertragbar. Die Garantie entfällt, wenn Produkte nicht bestimmungsgemäß verwendet, nicht ordnungsgemäß gewartet, durch höhere Gewalt beschädigt oder unter nicht vorgesehenen Betriebsbedingungen eingesetzt wurden. Verschleißteile sind von der Garantie ausgeschlossen.

Um zusätzliche Schäden zu vermeiden, darf ein Produkt, welches unter diese Garantie fällt, im Falle eines Fehlers nicht weiter genutzt werden. Der Käufer ist verpflichtet, FLIR Systems jeden aufgetretenen Fehler sofort zu melden. Andernfalls verliert diese Garantie ihre Gültigkeit.

FLIR Systems wird nach eigenem Ermessen jedes fehlerhafte Produkt kostenlos reparieren oder ersetzen, falls sich nach einer Untersuchung des Produkts herausstellt, dass ein Material- oder Herstellungsfehler vorliegt, und das Produkt innerhalb der erwähnten Gewährleistungsfrist an FLIR Systems zurückgegeben wurde.

FLIR Systems übernimmt außer den oben vereinbarten Verpflichtungen und Haftungen keine weiteren Verpflichtungen und Haftungen.

Weitere Garantien sind weder ausdrücklich noch stillschweigend vereinbart. Insbesondere lehnt FLIR Systems alle stillschweigenden Garantien der Handelsfähigkeit oder der Eignung für einen bestimmten Zweck ab.

FLIR Systems haftet nicht für unmittelbare, mittelbare, besondere, beiläufig entstandene Schäden oder Folgeschäden und Verluste, unabhängig davon, ob sich diese aus Verträgen, Haftungen aus unerlaubter Handlung oder sonstigen Rechtsgrundlagen ergeben.

Diese Garantie unterliegt schwedischem Recht.

Jegliche Rechtsstreitigkeiten, Klagen oder Forderungen, die sich aus dieser Garantie ergeben oder damit in Verbindung stehen, werden gemäß den Bestimmungen des Schiedsgerichtsinstituts der Handelskammer Stockholm entschieden. Gerichtsstandort ist Stockholm. Das Schiedsverfahren wird in englischer Sprache durchgeführt.

Urheberrecht

© 2010, FLIR Systems. Alle Rechte weltweit vorbehalten. Ohne die vorherige schriftliche Genehmigung von FLIR Systems darf die Software einschließlich des Quellcodes weder ganz noch in Teilen in keiner Form, sei es elektronisch, magnetisch, optisch, manuell oder auf andere Weise, vervielfältigt, übertragen, umgeschrieben oder in eine andere Sprache oder Computersprache übersetzt werden.

Ohne die vorherige schriftliche Zustimmung von FLIR Systems ist es nicht gestattet, diese Dokumentation oder Teile davon zu vervielfältigen, zu fotokopieren, zu reproduzieren, zu übersetzen oder auf ein elektronisches Medium oder in eine maschinenlesbare Form zu übertragen.

Namen und Marken, die auf den hierin beschriebenen Produkten erscheinen, sind entweder registrierte Marken oder Marken von FLIR Systems und/oder seinen Niederlassungen. Alle anderen Marken, Handelsnamen oder Firmennamen in dieser Dokumentation werden nur zu Referenzzwecken verwendet und sind das Eigentum der jeweiligen Besitzer.

Qualitätssicherung

Das für die Entwicklung und Herstellung dieser Produkte eingesetzte Qualitätsmanagementsystem wurde nach dem Standard ISO 9001 zertifiziert.

FLIR Systems fühlt sich einer ständigen Weiterentwicklung verpflichtet. Aus diesem Grunde behalten wir uns das Recht vor, an allen in diesem Handbuch beschriebenen Produkten ohne vorherige Ankündigung Änderungen und Verbesserungen vorzunehmen.

Patente

Ein oder mehrere der folgenden Patente oder Geschmacksmuster gelten für die in diesem Handbuch beschriebenen Produkte und/oder Funktionen:

0002258-2; 000279476-0001; 000439161; 000499579-0001; 000653423; 000726344; 000859020; 000889290; 001106306-0001; 0101577-5; 0102150-0; 0200629-4; 0300911-5; 0302837-0; 1144833; 1182246; 1182620; 1188086; 1263438; 1285345; 1287138; 1299699; 1325808; 1336775; 1365299; 1678485; 1732314; 200530018812.0; 200830143636.7; 2106017; 235308; 3006596; 3006597; 466540; 483782; 484155; 518836; 60004227.8; 60122153.2; 602004011681.5-08; 6707044; 68657; 7034300; 7110035; 7154093; 7157705; 7237946; 7312822; 7332716; 7336823; 7544944; 75530; D540838; D549758; D579475; D584755; D599,392; DI6702302-9; DI6703574-4; DM/057692; DM/061609; ZL00809178.1; ZL01823221.3; ZL01823226.4; ZL02331553.9; ZL02331554.7; ZL200530120994.2; ZL200630130114.4; ZL200730151141.4; ZL200730339504.7; ZL200830128581.2;

EULA Terms

- You have acquired a device (“INFRARED CAMERA”) that includes software licensed by FLIR Systems AB from Microsoft Licensing, GP or its affiliates (“MS”). Those installed software products of MS origin, as well as associated media, printed materials, and “online” or electronic documentation (“SOFTWARE”) are protected by international intellectual property laws and treaties. The SOFTWARE is licensed, not sold. All rights reserved.

- IF YOU DO NOT AGREE TO THIS END USER LICENSE AGREEMENT (“EULA”), DO NOT USE THE DEVICE OR COPY THE SOFTWARE. INSTEAD, PROMPTLY CONTACT FLIR Systems AB FOR INSTRUCTIONS ON RETURN OF THE UNUSED DEVICE(S) FOR A REFUND. **ANY USE OF THE SOFTWARE, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO USE ON THE DEVICE, WILL CONSTITUTE YOUR AGREEMENT TO THIS EULA (OR RATIFICATION OF ANY PREVIOUS CONSENT).**

- **GRANT OF SOFTWARE LICENSE.** This EULA grants you the following license:

  - You may use the SOFTWARE only on the DEVICE.

  - **NOT FAULT TOLERANT.** THE SOFTWARE IS NOT FAULT TOLERANT. FLIR Systems AB HAS INDEPENDENTLY DETERMINED HOW TO USE THE SOFTWARE IN THE DEVICE, AND MS HAS RELIED UPON FLIR Systems AB TO CONDUCT SUFFICIENT TESTING TO DETERMINE THAT THE SOFTWARE IS SUITABLE FOR SUCH USE.

  - **NO WARRANTIES FOR THE SOFTWARE.** THE SOFTWARE is provided "AS IS" and with all faults. THE ENTIRE RISK AS TO SATISFACTORY QUALITY, PERFORMANCE, ACCURACY, AND EFFORT (INCLUDING LACK OF NEGLIGENCE) IS WITH YOU. ALSO, THERE IS NO WARRANTY AGAINST INTERFERENCE WITH YOUR ENJOYMENT OF THE SOFTWARE OR AGAINST INFRINGEMENT. **IF YOU HAVE RECEIVED ANY WARRANTIES REGARDING THE DEVICE OR THE SOFTWARE, THOSE WARRANTIES DO NOT ORIGINATE FROM, AND ARE NOT BINDING ON, MS.**

  - No Liability for Certain Damages. **EXCEPT AS PROHIBITED BY LAW, MS SHALL HAVE NO LIABILITY FOR ANY INDIRECT, SPECIAL, CONSEQUENTIAL OR INCIDENTAL DAMAGES ARISING FROM OR IN CONNECTION WITH THE USE OR PERFORMANCE OF THE SOFTWARE. THIS LIMITATION SHALL APPLY EVEN IF ANY REMEDY FAILS OF ITS ESSENTIAL PURPOSE. IN NO EVENT SHALL MS BE LIABLE FOR ANY AMOUNT IN EXCESS OF U.S. TWO HUNDRED FIFTY DOLLARS (U.S.$250.00).**

  - **Limitations on Reverse Engineering, Decompilation, and Disassembly.** You may not reverse engineer, decompile, or disassemble the SOFTWARE, except and only to the extent that such activity is expressly permitted by applicable law notwithstanding this limitation.

  - **SOFTWARE TRANSFER ALLOWED BUT WITH RESTRICTIONS.** You may permanently transfer rights under this EULA only as part of a permanent sale or transfer of the Device, and only if the recipient agrees to this EULA. If the SOFTWARE is an upgrade, any transfer must also include all prior versions of the SOFTWARE.

  - **EXPORT RESTRICTIONS.** You acknowledge that SOFTWARE is subject to U.S. export jurisdiction. You agree to comply with all applicable international and national laws that apply to the SOFTWARE, including the U.S. Export Administration Regulations, as well as end-user, end-use and destination restrictions issued by U.S. and other governments. For additional information see http://www.microsoft.com/exporting/.

Inhaltsverzeichnis

1 Sicherheitshinweise 1

2 Hinweise für Benutzer 3

3 Hilfe für Kunden 4

4 Aktualisierung der Dokumentation 5

5 Wichtiger Hinweis zu diesem Handbuch 6

6 Schnelleinstieg 7

7 Teilelisten 9
7.1 Inhalt des Transportkoffers 9
7.2 Zubehörliste 10

8 Kamerateile und Anzeigen 11
8.1 Kamerateile 11
8.2 Tastatur und LCD-Display 13
8.3 Netzanzeige 14
8.4 Akkuanzeige 15
8.5 Laserpointer 16

9 Bildschirmelemente 18

10 Anschlüsse und Speichermedien 20
10.1 Netzanschluss 20
10.2 USB-Anschlüsse 21
10.3 Einsetzen und Entnehmen von MicroSD™-Speicherkarten 22

11 Verbinden von Bluetooth®-Geräten 23

12 Abrufen von Daten von externen Extech®-Messgeräten 24
12.1 Typische Verfahrensweise für Feuchtigkeitsmessung und Dokumentation 26

13 Auswählen der Kameramodi und Anpassen der Bilder 27
13.1 Auswählen des Kameramodus 27
13.2 Einstellen des Kamerafokus 28
13.3 Durchführen eines automatischen Abgleichs eines Bildes 29
13.4 Manuelle Bildeinstellung 30
13.4.1 Erhöhen oder Verringern des maximalen Temperaturwertes 31
13.4.2 Erhöhen oder Verringern des minimalen Temperaturwertes 32
13.4.3 Gleichzeitiges Ändern des maximalen und minimalen Temperaturwertes 33

14 Arbeiten mit Messungen 34
14.1 Messen der Temperatur mit Hilfe eines Messpunktes 34
14.2 Messen der Temperatur mit Hilfe eines Bereichs 35

15 Arbeiten mit Alarmsignalen 36
15.1 Einstellen des Farbalarms 36
15.2 Einstellen eines Taupunktalarms 37
15.3 Einstellen eines Wärmedämmungsalarms 38

16 Arbeiten mit Dateien 39
16.1 Speichern von Bildern 39
16.2 Öffnen von Bildern 41
16.3 Löschen von Bildern 42
16.4 Löschen aller Bilder 43
16.5 Hinzufügen von Sprachkommentaren zu einem Bild 44
16.6 Wiedergabe von Sprachkommentaren 45
16.7 Löschen von Sprachkommentaren 46
16.8 Verschieben von Bildern auf einen PC 47
16.9 Kopieren eines Bildes in ein externes USB-Laufwerk 49
16.10 Kopieren aller Bilder in ein externes USB-Laufwerk 50

17 Ändern der Kameraeinstellungen 51
17.1 Ändern der Farben 51
17.2 Ändern des Emissionsgrads 52
17.3 Ändern der reflektierten scheinbaren Temperatur 54
17.4 Ändern der Korrektur der externen Optik 56
17.5 Ändern weiterer Kameraeinstellungen 57

18 Stromversorgung 58
18.1 Einsetzen des Akkus 58
18.2 Entfernen des Akkus 59
18.3 Laden des Akkus 60
18.3.1 Verwenden des kombinierten Netzteils und Ladegeräts, um den Akku in der Kamera zu laden 61
18.3.2 Verwenden des kombinierten Netzteils und Ladegeräts, um den Akku außerhalb der Kamera zu laden 62
18.3.3 Verwenden des Ladegeräts für zwei Akkus 63
18.4 Einschalten der Kamera 64
18.5 Ausschalten der Kamera 65

19 Reinigen der Kamera 66
19.1 Kameragehäuse, Kabel und weitere Teile 66
19.2 Infrarotobjektiv 67

20 Technische Daten 68

21 Steckerkonfigurationen 69

22 Abmessungen 70
22.1 Kamera 70
22.2 Akku 74
22.3 Ladegerät für zwei Akkus 75
22.4 Ladegerät für zwei Akkus mit Akku 76

23 Anwendungsbeispiele 77
23.1 Feuchtigkeit und Wasserschäden 77
23.2 Defekter Steckdosenkontakt 78
23.3 Oxidierte Steckdose 79
23.4 Wärmedämmungsmängel 80
23.5 Luftzug 81

24 Einführung in die Gebäudethermografie 82
24.1 Wichtiger Hinweis 82

24.2 Typische Einsatzszenarien 82
24.2.1 Richtlinien 82
24.2.1.1 Allgemeine Richtlinien 82
24.2.1.2 Richtlinien für den Nachweis von Feuchtigkeit, Schimmel und Wasserschäden 83
24.2.1.3 Richtlinien für den Nachweis von Luftinfiltration und Wärmedämmungsmängeln 83
24.2.2 Informationen zum Feuchtigkeitsnachweis 84
24.2.3 Feuchtigkeitsnachweis (1): Industrieflachdächer 85
24.2.3.1 Allgemeine Informationen 85
24.2.3.2 Sicherheitsvorkehrungen 85
24.2.3.3 Kommentierte Gebäudestrukturen 86
24.2.3.4 Kommentierte Infrarotbilder 87
24.2.4 Feuchtigkeitsnachweis (2): Fassaden von Industrie- und Wohngebäuden 89
24.2.4.1 Allgemeine Informationen 89
24.2.4.2 Kommentierte Gebäudestrukturen 89
24.2.4.3 Kommentierte Infrarotbilder 91
24.2.5 Feuchtigkeitsnachweis (3): Gebäudefreiflächen und Balkone 92
24.2.5.1 Allgemeine Informationen 92
24.2.5.2 Kommentierte Gebäudestrukturen 93
24.2.5.3 Kommentierte Infrarotbilder 95
24.2.6 Feuchtigkeitsnachweis (4): Rohrbrüche und Leckagen 95
24.2.6.1 Allgemeine Informationen 95
24.2.6.2 Kommentierte Infrarotbilder 96
24.2.7 Luftinfiltration 98
24.2.7.1 Allgemeine Informationen 98
24.2.7.2 Kommentierte Gebäudestrukturen 98
24.2.7.3 Kommentierte Infrarotbilder 100
24.2.8 Wärmedämmungsmängel 101
24.2.8.1 Allgemeine Informationen 101
24.2.8.2 Kommentierte Gebäudestrukturen 101
24.2.8.3 Kommentierte Infrarotbilder 103
24.3 Theorie des Bauingenieurwesens 105
24.3.1 Allgemeine Informationen 105
24.3.2 Vorteile von Untersuchungen und Prüfungen 106
24.3.3 Ursachen für Störungen bei der Thermografie 108
24.3.4 Oberflächentemperatur und Lufteinbrüche 109
24.3.4.1 Druckverhältnisse in Gebäuden 110
24.3.5 Messbedingungen und Zeitpunkt für Messungen 115
24.3.6 Auswertung von Infrarotbildern 115
24.3.7 Feuchtigkeit und Taupunkt 117
24.3.7.1 Relative und absolute Feuchtigkeit 117
24.3.7.2 Definition des Taupunkts 118
24.3.8 Auszug aus technischem Hinweis ‘Bewertung von Wärmebrücken und durchgehender Wärmedämmung’ (Beispiel für Großbritannien) 119
24.3.8.1 Impressum 119
24.3.8.2 Einleitung 119
24.3.8.3 Hintergrundinformationen 119
24.3.8.4 Quantitative Bewertung thermischer Auffälligkeiten 120
24.3.8.5 Bedingungen und Ausrüstung 124
24.3.8.6 Untersuchung und Analyse 125
24.3.8.7 Berichterstellung 127
24.4 Haftungsausschluss 129

24.4.1 Urheberrechtliche Hinweise ... 129
24.4.2 Schulung und Zertifizierung ... 129
24.4.3 Nationale oder regionale Bauordnungen ... 129

25 Einführung in die thermografische Untersuchung elektrischer Anlagen ... 130
25.1 Wichtiger Hinweis ... 130
25.2 Allgemeine Informationen ... 130
25.2.1 Einleitung ... 130
25.2.2 Allgemeine Anlagendaten ... 131
25.2.3 Untersuchung ... 132
25.2.4 Klassifizierung und Berichterstellung ... 133
25.2.5 Priorität ... 133
25.2.6 Behebung ... 134
25.2.7 Überprüfung ... 134
25.3 Messverfahren für thermografische Untersuchungen an elektrischen Anlagen ... 136
25.3.1 Richtiges Vorbereiten der Ausrüstung ... 136
25.3.2 Temperaturmessungen ... 136
25.3.3 Vergleichsmessung ... 138
25.3.4 Normale Betriebstemperatur ... 139
25.3.5 Klassifizierung von Schwachstellen ... 141
25.4 Berichterstellung ... 142
25.5 Verschiedene Typen von Hotspots in elektrischen Anlagen ... 144
25.5.1 Reflexionen ... 144
25.5.2 Erwärmung durch Sonneneinstrahlung ... 144
25.5.3 Induktive Erwärmung ... 145
25.5.4 Lastunterschiede ... 145
25.5.5 Unterschiedliche Kühlungsbedingungen ... 146
25.5.6 Beständigkeitsunterschiede ... 147
25.5.7 Überhitzung eines Bereichs auf Grund einer Schwachstelle in einem anderen Bereich ... 147
25.6 Störfaktoren bei der thermografischen Untersuchung an elektrischen Anlagen ... 149
25.6.1 Wind ... 149
25.6.2 Regen und Schnee ... 150
25.6.3 Abstand zum Objekt ... 150
25.6.4 Objektgröße ... 151
25.7 Praktische Hinweise für den Thermografen ... 153
25.7.1 Von der Kälte in die Wärme ... 153
25.7.2 Regenschauer ... 153
25.7.3 Emissionsgrad ... 153
25.7.4 Reflektierte scheinbare Temperatur ... 154
25.7.5 Objekt ist zu weit entfernt ... 154

26 Informationen zu FLIR Systems ... 155
26.1 Mehr als nur eine Infrarotkamera ... 156
26.2 Weitere Informationen ... 156
26.3 Support für Kunden ... 156
26.4 Bilder ... 157

27 Glossar ... 159

28 Thermografische Messtechniken ... 163
28.1 Einleitung ... 163
28.2 Emissionsgrad ... 163
28.2.1 Ermitteln des Emissionsgrades eines Objekts ... 164

28.2.1.1 Schritt 1: Bestimmen der reflektierten Strahlungstemperatur 164
28.2.1.2 Schritt 2: Ermitteln des Emissionsgrades 166
28.3 Reflektierte scheinbare Temperatur 167
28.4 Abstand 167
28.5 Relative Luftfeuchtigkeit 167
28.6 Weitere Parameter 167

29 Geschichte der Infrarot-Technologie 168

30 Theorie der Thermografie 173
30.1 Einleitung 173
30.2 Das elektromagnetische Spektrum 173
30.3 Strahlung des schwarzen Körpers 174
30.3.1 Planckscher Gesetz 175
30.3.2 Wiensches Verschiebungsgesetz 177
30.3.3 Stefan-Boltzmann-Gesetz 178
30.3.4 Nicht-schwarze Körper als Strahlungsquellen 179
30.4 Halb-transparente Infrarotmaterialien 182

31 Die Messformel 183

32 Emissionstabellen 189
32.1 Referenzen 189
32.2 Wichtiger Hinweis zu den Emissionsgradtabellen 189
32.3 Tabellen 190

1 Sicherheitshinweise

WARNUNG

- Diese Ausrüstung erzeugt und nutzt elektromagnetische Strahlung und kann diese abstrahlen. Bei unsachgemäßer Installation und Verwendung (entgegen der Bedienungsanleitung) kann sie Funkverbindungen stören. Tests haben ergeben, dass sie den Grenzwerten für Computergeräte der Klasse A gemäß Teil 15, Kapitel J der FCC-Regeln (Subpart J of Part 15 of FCC Rules) entspricht, die beim Einsatz im kommerziellen Bereich einen angemessenen Schutz gegen diese Interferenzen bieten sollen. Der Betrieb dieser Ausrüstung in einem Wohngebiet kann durchaus Interferenzen verursachen; in diesem Fall ist der Benutzer selbst dafür verantwortlich, die erforderlichen Maßnahmen zur Behebung der Interferenz zu ergreifen.
- (Gilt nur für Kameras mit Laserpointer.) Schauen Sie nicht direkt in den Laserstrahl. Der Laserstrahl kann die Augen reizen.
- Gilt nur für Kameras mit Akku:
  - Bauen Sie den Akku niemals auseinander und manipulieren Sie ihn nicht. Der Akku verfügt über Sicherheits- und Schutzmechanismen. Wenn diese beschädigt werden, kann sich der Akku erhitzen, entzünden oder explodieren.
  - Sollten Sie Batterieflüssigkeit in die Augen bekommen, reiben Sie Ihre Augen auf keinen Fall. Spülen Sie sie mit reichlich Wasser aus, und suchen Sie umgehend einen Arzt auf. Ergreifen Sie diese Maßnahmen nicht, kann die Batterieflüssigkeit Ihre Augen ernsthaft verletzen.
  - Wenn der Akku sich nicht innerhalb der angegebenen Zeit auflädt, setzen Sie den Ladevorgang nicht fort. Laden Sie den Akku länger als angegeben, kann dieser heiß werden und explodieren oder sich entzünden.
  - Verwenden Sie zum Entladen des Akkus nur die dafür vorgesehene Ausrüstung. Wenn Sie nicht die dafür vorgesehene Ausrüstung verwenden, kann sich dies negativ auf die Leistung oder die Lebensdauer des Akkus auswirken. Wenn Sie nicht die richtige Ausrüstung verwenden, erhält der Akku möglicherweise eine falsche Spannung. Dadurch kann sich der Akku erhitzen oder gar explodieren und Personen verletzen.
- Lesen Sie unbedingt alle entsprechenden MSDS (Material Safety Data Sheets, Sicherheitsdatenblätter) und Warnhinweise auf den Behältern durch, bevor Sie eine Flüssigkeit verwenden: Flüssigkeiten können gefährlich sein.

VORSICHT

- Richten Sie die Infrarotkamera (mit oder ohne Objektivkappe) niemals auf intensive Strahlungsquellen wie beispielsweise Geräte, die Laserstrahlen abgeben. Richten Sie sie auch nicht auf die Sonne. Dies könnte unerwünschte Auswirkungen auf die Genauigkeit der Kamera haben. Der Detektor in der Kamera könnte sogar beschädigt werden.
- Verwenden Sie die Kamera nicht bei Temperaturen über +50 °C, sofern in der Benutzerdokumentation nicht anders angegeben. Hohe Temperaturen können die Kamera beschädigen.
- (Gilt nur für Kameras mit Laserpointer.) Bedecken Sie den Laserpointer mit der Schutzkappe, wenn Sie ihn nicht verwenden.
- Gilt nur für Kameras mit Akku:

- Schließen Sie die Akkus niemals direkt an einen PKW-Zigarettenanzünder an, es sei denn, es wurde von FLIR Systems ein spezieller Adapter zum Anschließen der Akkus an den Zigarettenanzünder bereitgestellt.
- Überbrücken Sie den Plus- und Minus-Pol eines Akkus niemals mit einem metallischen Gegenstand wie einem Draht.
- Setzen Sie den Akku niemals Wasser oder Salzwasser aus, und lassen Sie ihn nicht nass werden.
- Beschädigen Sie den Akku niemals mit spitzen Gegenständen. Schlagen Sie niemals mit dem Hammer auf den Akku. Treten Sie niemals auf den Akku oder setzen ihn starken Schlägen oder Stößen aus.
- Setzen Sie die Akkus niemals offenem Feuer oder direkter Sonneneinstrahlung aus. Wenn sich der Akku erhitzt, wird der eingebaute Sicherheitsmechanismus aktiviert, der ein weiteres Aufladen des Akkus verhindert. Wenn der Akku heiß wird, kann der Sicherheitsmechanismus beschädigt werden und zur weiteren Erhitzung, Beschädigung oder Entzündung des Akkus führen.
- Setzen Sie den Akku unter keinen Umständen Feuer oder großer Hitze aus.
- Halten Sie den Akku von offenem Feuer, Herdplatten oder anderen Stellen fern, an denen hohe Temperaturen herrschen.
- Versuchen Sie niemals am Akku etwas zu löten.
- Ziehen Sie den Akku aus dem Verkehr, wenn dieser während des Betriebs, Ladens oder Aufbewahrens einen ungewöhnlichen Geruch verströmt, sich heiß anfühlt, sich in Farbe oder Form verändert oder sonstige Anormalitäten aufweist. Wenn eines dieser Symptome auftritt, setzen Sie sich mit Ihrer Vertriebsstelle in Verbindung.
- Verwenden Sie zum Laden des Akkus nur empfohlene Ladegeräte.
- Der Akku muss bei Temperaturen zwischen ±0 °C und +45 °C geladen werden, wenn dies nicht anders in der Benutzerdokumentation angegeben ist. Wenn der Akku bei Temperaturen außerhalb dieses Bereichs geladen wird, kann der Akku heiß werden oder aufbrechen. Außerdem kann dadurch die Leistung und Lebensdauer des Akkus beeinträchtigt werden.
- Das Entladen des Akkus muss bei Temperaturen zwischen −15 °C und +50 °C erfolgen, sofern nicht anderweitig in der Benutzerdokumentation angegeben. Der Einsatz des Akkus bei Temperaturen außerhalb des angegebenen Bereichs kann die Leistung und Lebensdauer des Akkus beeinträchtigen.
- Wenn der Akku defekt ist, isolieren Sie die Pole vor der Entsorgung mit Klebeband oder etwas Ähnlichem.
- Sollte der Akku Feuchtigkeit aufweisen, entfernen Sie diese vor dem Einsetzen.

- Verwenden Sie niemals Verdünnungsmittel oder ähnliche Flüssigkeiten für Kamera, Kabel oder Zubehör. Dies könnte zu Beschädigungen führen.
- Gehen Sie bei der Reinigung des Infrarotobjektivs behutsam vor. Das Objektiv ist mittels einer Beschichtung entspiegelt, die sehr empfindlich ist.
- Reinigen Sie das Infrarotobjektiv sehr vorsichtig, da andernfalls die Entspiegelung Schaden nehmen könnte.
- Bei Anwendungen in der Nähe von Öfen oder in anderen Hochtemperaturumgebungen müssen Sie einen Hitzeschild an der Kamera befestigen. Die Verwendung der Kamera in der Nähe von Öfen oder in anderen Hochtemperaturumgebungen ohne einen Hitzeschild kann die Kamera beschädigen.

2 Hinweise für Benutzer

Typografische Konventionen

In diesem Handbuch gelten die folgenden typografischen Konventionen:

- **Halbfett** wird für Menünamen, Menübefehle sowie Elemente und Schaltflächen in Dialogfeldern verwendet.
- *Kursiv* wird für wichtige Informationen verwendet.
- `Monospace` wird für Codebeispiele verwendet.
- GROSSBUCHSTABEN werden für Tastenbezeichnungen verwendet.

Benutzerforen

In unseren Benutzerforen können Sie sich mit anderen Thermografen auf der ganzen Welt über Ideen, Probleme und Infrarotlösungen austauschen. Die Foren finden Sie hier:

http://www.infraredtraining.com/community/boards/

Kalibrierung

(Diese Anmerkung gilt nur für Kameras mit Messfunktionen.)

Wir empfehlen, die Kamera einmal pro Jahr zur Kalibrierung einzusenden. Wenden Sie sich an Ihre Vertriebsstelle, um entsprechende Informationen zu erhalten.

Enstorgung elektronischer Geräte

Dieses Gerät muss wie die meisten anderen elektronischen Geräte auf umweltfreundliche Weise und gemäß den geltenden Bestimmungen für elektronische Geräte entsorgt werden.

Weitere Informationen erhalten Sie bei Ihrem FLIR Systems-Ansprechpartner.

3 Hilfe für Kunden

Allgemein

Die Kundenhilfe finden Sie hier:

http://flir.custhelp.com

Fragen stellen

Um eine Frage an das Team der Kundenhilfe stellen zu können, müssen Sie sich als Benutzer registrieren. Die Online-Registrierung nimmt nur wenige Minuten in Anspruch. Sie müssen kein registrierter Benutzer sein, um in der Informationsdatenbank nach vorhandenen Fragen und Antworten suchen zu können.

Wenn Sie eine Frage stellen möchten, sollten Sie folgende Informationen zur Hand haben:

- Kameramodell
- Seriennummer der Kamera
- Kommunikationsmodell oder -methode zwischen Kamera und PC (z. B. HDMI Ethernet, USB™ oder FireWire™)
- Betriebssystem Ihres Computers
- Version von Microsoft® Office
- Vollständiger Name, Veröffentlichungs- und Revisionsnummer des Handbuchs

Downloads

Darüber hinaus sind auf der Website der Kundenhilfe folgende Downloads verfügbar:

- Firmware-Updates für Ihre Infrarotkamera
- Programm-Updates für Ihre PC-Software
- Benutzerdokumentation
- Anwendungsberichte
- Technische Veröffentlichungen

4 Aktualisierung der Dokumentation

Allgemein

Unsere Handbücher werden mehrmals jährlich aktualisiert. Zudem veröffentlichen wir regelmäßig auch wichtige Änderungsmitteilungen zu Produkten.

Die neuesten Handbücher und Mitteilungen finden Sie auf der Registerkarte Download unter:

http://flir.custhelp.com

Die Online-Registrierung dauert nur wenige Minuten. Im Download-Bereich finden Sie auch die neuesten Versionen von Handbüchern unserer anderen Produkte sowie Handbücher für historische und ausgelaufene Modelle.

5 Wichtiger Hinweis zu diesem Handbuch

Allgemein

FLIR Systems veröffentlicht generische Handbücher, die sich auf mehrere Kameras einer Modellreihe beziehen.

Das bedeutet, dass dieses Handbuch Beschreibungen und Erläuterungen enthalten kann, die möglicherweise nicht auf Ihr Kameramodell zutreffen.

HINWEIS

FLIR Systems behält sich das Recht vor, die Herstellung von Modellen, Software, Teilen, Zubehör und anderen Artikeln ohne vorherige Ankündigung einzustellen und/oder deren Funktionen zu ändern.

6 Schnelleinstieg

Vorgehensweise

Um sofort mit dem Kameraeinsatz zu beginnen, gehen Sie folgendermaßen vor:

1	Bevor Sie die Kamera zum ersten Mal in Betrieb nehmen können, müssen Sie den Akku vier Stunden lang laden. ▪ Sie können den Akku über das externe Ladegerät laden oder indem Sie das Netzkabel direkt an den Akku anschießen. ▪ Wenn die Akkuanzeige grün leuchtet, ist der Akku vollständig aufgeladen. (Weitere Informationen finden Sie in Abschnitt 18.3 – Laden des Akkus auf Seite 60.)
2	Legen Sie den Akku in das Akkufach ein. (Weitere Informationen finden Sie in Abschnitt 18.1 – Einsetzen des Akkus auf Seite 58.)
3	Legen Sie eine Speicherkarte in den Kartensteckplatz ein. (Weitere Informationen finden Sie in Abschnitt 10.3 – Einsetzen und Entnehmen von MicroSD™-Speicherkarten auf Seite 22.)
4	Drücken Sie die Ein/Aus-Taste, um die Kamera einzuschalten. (Weitere Informationen finden Sie in Abschnitt 8.1 – Kamerateile auf Seite 11.)
5	Entfernen Sie den Objektivschutz.
6	Richten Sie die Kamera auf das gewünschte Ziel.
7	Stellen Sie den Fokus der Kamera durch Drehen des Fokusrings ein. (Weitere Informationen finden Sie in Abschnitt 13.2 – Einstellen des Kamerafokus auf Seite 28.)
8	Drücken Sie die Trigger-Taste, um das Bild zu speichern. (Weitere Informationen finden Sie in Abschnitt 16.1 – Speichern von Bildern auf Seite 39.)
9	Um ein Bild auf einen Computer zu übertragen, führen Sie eine der folgenden Aktionen durch: ▪ Entnehmen Sie die Speicherkarte, und legen Sie sie in ein Kartenlesegerät ein, das an einen Computer angeschlossen ist. Im Lieferumfang Ihrer Kamera ist ein Adapter enthalten. ▪ Verbinden Sie die Kamera mit Hilfe eines USB-Mini-B-Kabels mit einem Computer. (Weitere Informationen finden Sie in Abschnitt 16.8 – Verschieben von Bildern auf einen PC auf Seite 47.)

10	Verschieben Sie das Bild im Windows®-Explorer per Drag und Drop von der Karte oder Kamera.

7 Teilelisten

7.1 Inhalt des Transportkoffers

Inhalt

- Akku
- Bluetooth®-Headset
- Bluetooth®-USB-Micro-Adapter
- Kalibrierungsnachweis
- CD-ROM mit PC-Software FLIR QuickReport™
- Infrarotkamera mit Objektiv
- Speicherkarte mit Adapter
- Netzteil (+ Netzkabel für japanischen Markt)
- Druckversion des Handbuchs "Erste Schritte"
- USB-Kabel
- Benutzerdokumentation auf CD-ROM
- Karte für Garantieverlängerung oder Registrierung

HINWEIS

- FLIR Systems behält sich das Recht vor, die Herstellung von Modellen, Teilen, Zubehör und anderen Artikeln ohne vorherige Ankündigung einzustellen oder deren Spezifikationen zu ändern.
- Einige Artikel sind nur bei bestimmten Kameramodellen enthalten.

7.2 Zubehörliste

Allgemein

Dieser Abschnitt enthält eine Liste mit dem für diese Kamera erhältlichen Zubehör.

Zubehör

- 1122000 Kameratasche für E-Serie, InfraCAM/BCAM, FLIR i/bXX
- 1196398 Akku
- 1196497 Adaptersatz für Zigarettenanzünder, 12 VDC, 1,2 m
- 1910399EU Netzteil mit EU-Stecker
- T197209 FLIR Reporter Version 8.3 Professional (mit Sicherheitsschlüssel)
- T197210 FLIR Reporter Version 8.3 Professional
- T197211 FLIR Reporter Version 8.3 Standard (mit Sicherheitsschlüssel)
- T197212 FLIR Reporter Version 8.3 Standard
- T197247 Hartschalenkoffer für i/b40-60
- T197613 FLIR BuildIR
- T197650 Akkuladegerät für 2 Akkus, Netzteil mit Mehrfachsteckern
- T197667 Akkuset
- T197716 FLIR Reporter Version 8.5 Standard
- T197717 FLIR Reporter Version 8.5 Professional
- T910737 Micro-SD-Speicherkarte mit Adaptern
- T910750 Netzteil mit Mehrfachsteckern

HINWEIS

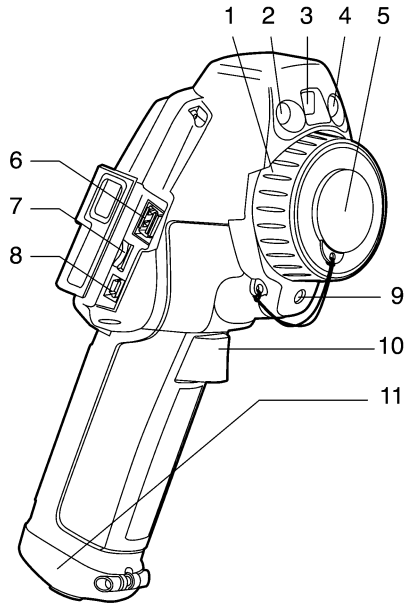
FLIR Systems behält sich das Recht vor, die Herstellung von Modellen, Teilen, Zubehör und anderen Artikeln ohne vorherige Ankündigung einzustellen oder deren Spezifikationen zu ändern.

8 Kamerateile und Anzeigen

8.1 Kamerateile

Abbildung

10782603;a2



Erläuterung

Die folgende Tabelle enthält Informationen zur oben stehenden Abbildung:

1	Fokusring am Infrarotobjektiv
2	Zusatzlampe
3	Digitalkamera
4	Zusatzlampe
5	Objektivkappe
6	USB-A-Anschluss (zum Anschließen eines USB-Memory-Sticks, eines Bluetooth®-USB-Micro-Adapters oder eines anderen USB-Geräts an die Kamera)
7	Steckplatz für MicroSD™-Speicherkarte
8	USB-Mini-B-Anschluss (zum Anschließen der Kamera an einen Computer)

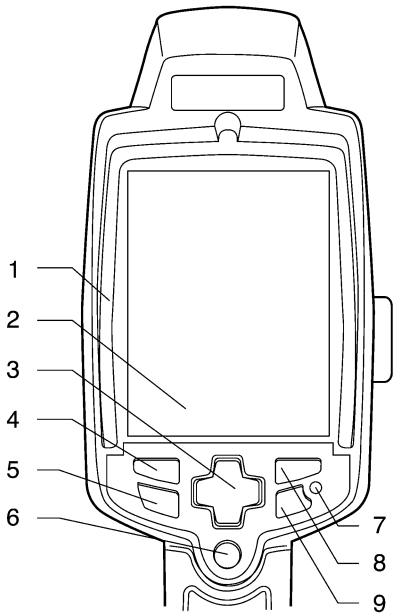
9	Laserpointer
10	Trigger-Taste zum Speichern von Bildern
11	Abdeckung für Akkufach mit Entriegelungstaste

HINWEIS Der Laserpointer ist möglicherweise nicht für alle Kameramodelle verfügbar.

8.2 Tastatur und LCD-Display

Abbildung

10782703;a2



Erläuterung

Die folgende Tabelle enthält Informationen zur oben stehenden Abbildung:

1	Schutzeinfassung aus Gummi für LCD-Display
2	LCD
3	Navigationstaste
4	Linke Auswahltaste mit kontextsensitiven Funktionen
5	Kamera-/Archiv-Taste. Mit Hilfe dieser Taste können Sie zwischen Kamera- und Archivmodus wechseln.
6	Taste zum Aktivieren des Laserpointers
7	Netzanzeige
8	Rechte Auswahltaste mit kontextsensitiven Funktionen
9	Ein/Aus-Taste

HINWEIS Der Laserpointer ist möglicherweise nicht für alle Kameramodelle verfügbar.

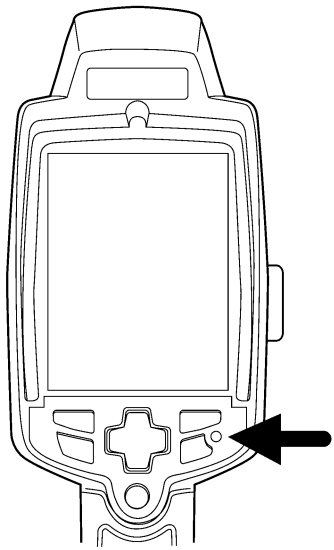
8.3 Netzanzeige

Allgemein

Die Kamera bietet zwei Stromversorgungsmodi. Eine Anzeige blendet diese Modi ein.

Abbildung

10782203;a2



Erläuterung

Die folgende Tabelle enthält Informationen zur Anzeige:

Signaltyp	Erläuterung
Das grüne Licht leuchtet stetig.	Die Kamera ist eingeschaltet.
Das grüne Licht ist aus.	Die Kamera ist ausgeschaltet.

HINWEIS

Wenn das grüne Licht 10 Mal pro Sekunde blinkt, liegt ein Hardware-Problem vor. Erkundigen Sie sich bei Ihrer Vertriebsstelle vor Ort, wohin Sie die Kamera zur Wartung einschicken können.

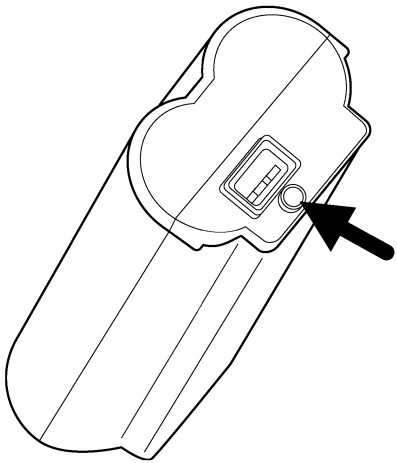
8.4 Akkuanzeige

Allgemein

Der Akku hat eine Akkuanzeige.

Abbildung

10715703;a3



Erläuterung

Die folgende Tabelle enthält Informationen zur Akkuanzeige:

Signaltyp	Erläuterung
Das grüne Licht blinkt zwei Mal pro Sekunde.	Der Akku wird gerade geladen.
Das grüne Licht leuchtet stetig.	Der Akku ist vollständig aufgeladen.
Das grüne Licht ist aus.	Die Kamera wird über Akku (nicht über das Netzteil) betrieben.

8.5 Laserpointer

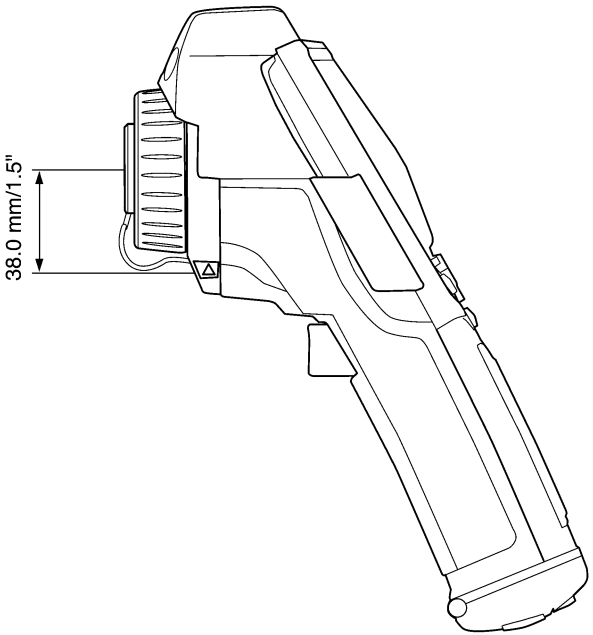
Allgemein

Die Kamera verfügt über einen Laserpointer. Wenn der Laserpointer eingeschaltet ist, sehen Sie einen Laserpunkt ca. 38 mm unter dem Messobjekt. Bei einigen Kameramodellen wird die Position des Laserpunktes auf dem Bildschirm angezeigt.

Abbildung

Die folgende Abbildung zeigt den Abstand zwischen dem Laserpointer und der optischen Mitte des Infrarotobjektivs:

10781703;a1



WARNUNG

Schauen Sie nicht direkt in den Laserstrahl. Der Laserstrahl kann die Augen reizen.

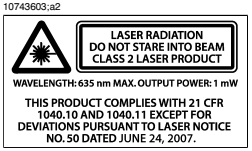
HINWEIS

- Der Laserpointer ist möglicherweise nicht für alle Kameramodelle verfügbar.
- Das Symbol wird auf dem Bildschirm angezeigt, wenn der Laserpointer eingeschaltet ist.
- Der Abstand zwischen dem Laserstrahl und der Bildmitte ändert sich je nach Entfernung des Messobjekts. Vergewissern Sie sich auf dem Bildschirm, dass das richtige Messobjekt angezeigt wird.

Laserwarnhinweis

An der Kamera ist folgender Laserwarnhinweis angebracht:

10743603;a2


LASER RADIATION
DO NOT STARE INTO BEAM
CLASS 2 LASER PRODUCT
WAVELENGTH: 635 nm MAX. OUTPUT POWER: 1 mW
THIS PRODUCT COMPLIES WITH 21 CFR 1040.10 AND 1040.11 EXCEPT FOR DEVIATIONS PURSUANT TO LASER NOTICE NO. 50 DATED JUNE 24, 2007.

Bestimmungen bezüglich des Lasers

Wellenlänge: 635 nm. Maximale Ausgangsleistung: 1 mW.

Dieses Produkt entspricht 21 CFR 1040.10 und 1040.11 mit Ausnahme von Abweichungen gemäß Laser Notice No. 50 vom 24. Juni 2007.

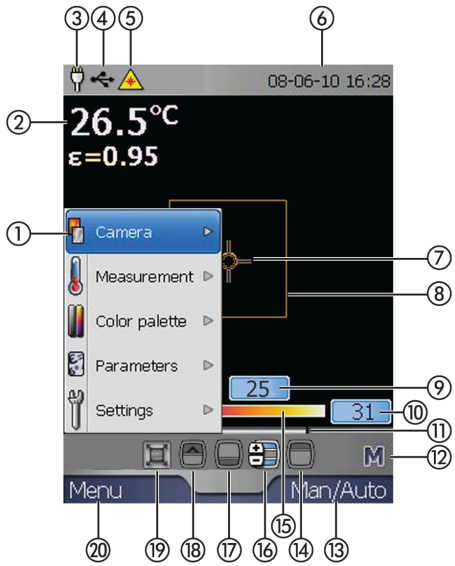
9 Bildschirmelemente

Allgemein

Sie können das Kameraprogramm mit Hilfe von Bildschirmelementen wie Tools, Menüs und Auswahlmöglichkeiten in Dialogfeldern steuern. In diesem Abschnitt werden die gängigen Bildschirmelemente beschrieben.

Abbildung

10782803;a1



Erläuterung

Die folgende Tabelle enthält Informationen zur oben stehenden Abbildung:

1	Menüsystem
2	Messergebnistabelle mit Informationen zum Emissionsgrad
3	Netzanzeige. Wenn die Kamera über Akku betrieben wird, sehen Sie eine Akkuanzeige.
4	USB-Anzeige. Diese Anzeige wird eingeblendet, wenn die Kamera über USB-Kabel an einen Computer angeschlossen ist.
5	Laserpointeranzeige. Diese Anzeige wird eingeblendet, wenn der Laserpointer aktiviert ist.
6	Datum und Uhrzeit
7	Messpunkt
8	Messbereich

9	Grenzwert für eine Isotherme in der Temperaturskala
10	Grenzwert für Temperaturskala
11	Anzeige für Temperatur-Span
12	Anzeige für automatischen oder manuellen Modus (A/M)
13	Aktuelle Funktion der rechten Auswahltaste
14	Tool zum Ändern der maximalen Temperatur
15	Temperaturskala
16	Tool zum gleichzeitigen Ändern von maximaler und minimaler Temperatur
17	Tool zum Ändern der minimalen Temperatur
18	Tool zum Konfigurieren einer Isotherme
19	Tool zum Anpassen der Größe des Picture-in-Picture-Bereichs
20	Aktuelle Funktion der linken Auswahltaste

HINWEIS Einige dieser Bildschirmelemente schließen sich gegenseitig aus.

10 Anschlüsse und Speichermedien

10.1 Netzanschluss

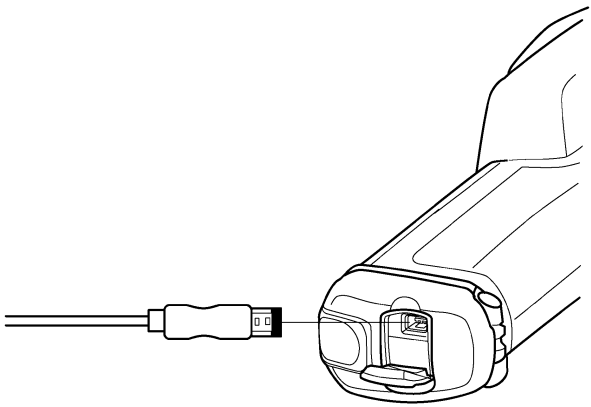
Allgemein

Sie schließen ein Netzkabel an der Kamera an,

- um den Akku zu laden
- um die Kamera über das Netzteil zu betreiben

Abbildung

10601403;a2



SIEHE AUCH

Informationen zur Steckerkonfiguration finden Sie in Abschnitt 21 – Steckerkonfigurationen auf Seite 69.

10.2 USB-Anschlüsse

Allgemein

Die USB-Anschlüsse kommen in folgenden Situationen zum Einsatz:

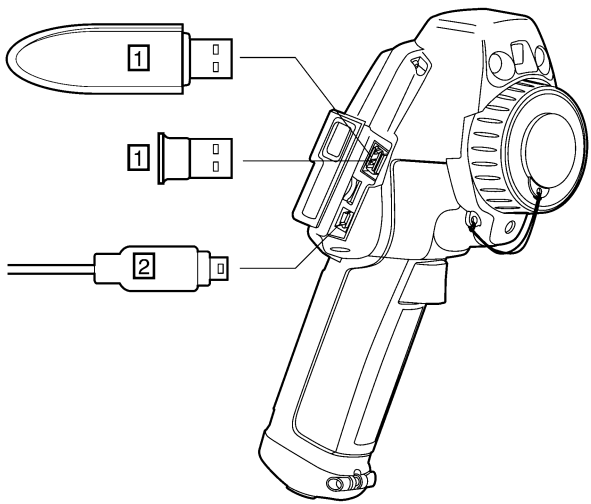
- Wenn Sie Bilder vom Kameraspeicher auf einen Computer verschieben möchten. In diesem Fall verwenden Sie den kleinen Anschluss (USB-Mini-B).
- Zum Anschließen eines USB-Memory-Sticks an die Kamera. Verwenden Sie in diesem Fall den großen Anschluss (USB-A).
- Zum Anschließen eines Bluetooth®-USB-Micro-Adapters an die Kamera, um Messergebnisse eines externen Extech®-Messgeräts zu erfassen. Verwenden Sie in diesem Fall den großen Anschluss (USB-A).

Unterstützte Extech®-Messgeräte

- Extech® Moisture Meter MO297
- Extech® Clamp Meter EX845

Abbildung

10782503;a2



Erläuterung

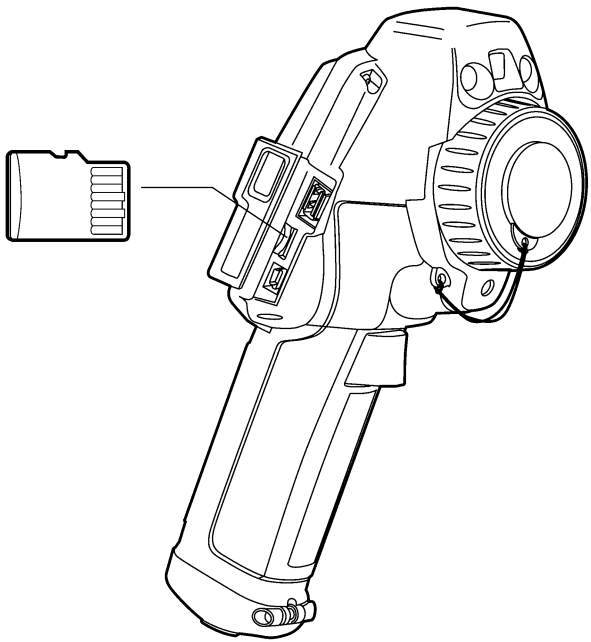
Die folgende Tabelle erläutert die Abbildung oben:

1	Eine der folgenden Nummern: ■ Memory-Stick ■ Bluetooth®-USB-Micro-Adapter
2	USB-Kabel mit USB-Mini-B-Anschluss (zum Anschließen der Kamera an einen Computer)

10.3 Einsetzen und Entnehmen von MicroSD™-Speicherkarten

Abbildung

10782303;a4



Vorgehensweise

Gehen Sie folgendermaßen vor, um eine MicroSD™-Speicherkarte einzusetzen bzw. zu entnehmen:

1	Öffnen Sie die Gummiabdeckung, die den Kartensteckplatz schützt.
2	Drücken Sie die MicroSD™-Speicherkarte fest in den Kartensteckplatz, bis Sie ein Klickgeräusch hören.
3	Um die MicroSD™-Speicherkarte zu entnehmen, drücken Sie die Karte noch einmal.

11 Verbinden von Bluetooth®-Geräten

Allgemein

Bevor Sie ein Bluetooth®-Gerät mit der Kamera verwenden können, müssen Sie die Geräte verbinden.

Vorgehensweise

Gehen Sie folgendermaßen vor:

1	Setzen Sie einen Bluetooth®-USB-Micro-Adapter in den großen USB-Anschluss (USB-A) ein.
2	Schalten Sie die Kamera ein.
3	Um das Hauptmenü anzuzeigen, drücken Sie auf **Menü**.
4	Um **Einstellungen** auszuwählen, drücken Sie die Navigationstaste nach oben/unten.
5	Um das Menü zu aktivieren, drücken Sie auf **Auswählen**.
6	Um **Bluetooth** auszuwählen, drücken Sie die Navigationstaste nach oben/unten.
7	Um das Menü zu aktivieren, drücken Sie auf **Auswählen**.
8	Um **Gerät hinzufügen** auszuwählen, drücken Sie die Navigationstaste nach oben/unten.
9	Um das Menü zu aktivieren, drücken Sie auf **Auswählen**. Nun benötigen Sie das Benutzerhandbuch Ihres Bluetooth®-Geräts. Während des Verbindungsaufbaus kann es erforderlich sein, dass Sie das Dialogfeld aktualisieren, indem Sie auf **Aktualisieren** klicken.

12 Abrufen von Daten von externen Extech®-Messgeräten

Allgemein

Sie können Daten von einem externen Extech®-Messgerät abrufen und diese Daten in die Ergebnistabelle des Infrarotbilds aufnehmen.

Abbildung

T638370;a1

Unterstützte Extech®-Messgeräte

- Extech® Moisture Meter MO297
- Extech® Clamp Meter EX845

Technischer Support für Extech®-Messgeräte

support@extech.com

Diese Support-Kontaktinformationen gelten für Extech®-Messgeräte. Technischen Support für Infrarotkameras erhalten Sie unter http://flir.custhelp.com.

HINWEIS

- Bei diesem Verfahren ist eine Verbindung der Bluetooth®-Geräte erforderlich. Informationen hierzu finden Sie in Abschnitt 11 – Verbinden von Bluetooth®-Geräten auf Seite 23.
- Weitere Informationen zu Produkten von Extech Instruments finden Sie hier: http://www.extech.com/instruments/

Vorgehensweise

Gehen Sie folgendermaßen vor:

1	Schalten Sie die Kamera ein.

2	Schalten Sie das Extech®-Messgerät ein.
3	Aktivieren Sie am Messgerät den Bluetooth®-Modus. Informationen zur Vorgehensweise finden Sie im Benutzerhandbuch des Messgeräts.
4	Wählen Sie am Messgerät die zu verwendende Maßeinheit (Spannung, Strom, Widerstand usw.). Informationen zur Vorgehensweise finden Sie in der Benutzerdokumentation des Messgeräts. Die Ergebnisse des Messgeräts werden nun automatisch in der Ergebnistabelle links oben im Bildschirm der Infrarotkamera angezeigt.
5	Um das Bild mit dem angezeigten Ergebnis des Messgeräts zu speichern, drücken Sie die Trigger-Taste.
6	(Optionaler Schritt) Gehen Sie folgendermaßen vor, um einen zusätzlichen Wert des Messgeräts hinzuzufügen: **1** Rufen Sie das Infrarotbild aus dem Archiv auf. **2** Wählen Sie im Messgerät die zu verwendende Maßeinheit (Spannung, Strom, Widerstand usw.) aus. **3** Nehmen Sie mit dem Messgerät eine neue Messung vor. **4** Drücken Sie an der Infrarotkamera die Trigger-Taste, um den neuen Messwert zum Bild hinzuzufügen. **5** Bestätigen Sie, dass Sie das geänderte Bild speichern möchten.

12.1 Typische Verfahrensweise für Feuchtigkeitsmessung und Dokumentation

Allgemein

Aufbauend auf der nachfolgenden Verfahrensweise können Sie weitere Verfahren mit Extech®-Messgeräten und Infrarotkameras durchführen.

Vorgehensweise

Gehen Sie folgendermaßen vor:

1	Ermitteln Sie mit Hilfe der Infrarotkamera potenziell feuchte Bereiche hinter Wänden und Decken.
2	Nehmen Sie mit Hilfe des Feuchtemessers an verschiedenen Stellen, an denen Feuchtigkeit vermutet wird, Messungen vor.
3	Wird ein besonders auffälliger Punkt identifiziert, speichern Sie den Feuchtigkeitswert im Feuchtemesser und kennzeichnen Sie den Messpunkt von Hand oder mit einer anderen thermischen Markierung
4	Rufen Sie den Messwert aus dem Speicher des Messgeräts ab. Der Feuchtemesser überträgt diesen Wert nun fortlaufend an die Infrarotkamera.
5	Erfassen Sie mit der Kamera ein Wärmebild des Bereichs mit der Markierung. Die gespeicherten Daten des Feuchtemessers werden ebenfalls im Bild gespeichert.

13 Auswählen der Kameramodi und Anpassen der Bilder

13.1 Auswählen des Kameramodus

Allgemein

Für den Einsatz der Kamera sind drei verschiedene Kameramodi verfügbar:

- Einsatz als Infrarotkamera: In diesem Modus fungiert die Kamera als herkömmliche Infrarotkamera, die ausschließlich Infrarotbilder anzeigen und speichern kann.
- Einsatz als Digitalkamera: In diesem Modus fungiert die Kamera als Digitalkamera, die sich wenig von einer herkömmlichen Digitalkamera unterscheidet.
- Einsatz der Picture-in-Picture-Funktion: In diesem Modus wird der mittlere Teil des Digitalbildes als Infrarotbild angezeigt.

Sie können den Kameramodus jederzeit ändern.

Vorgehensweise

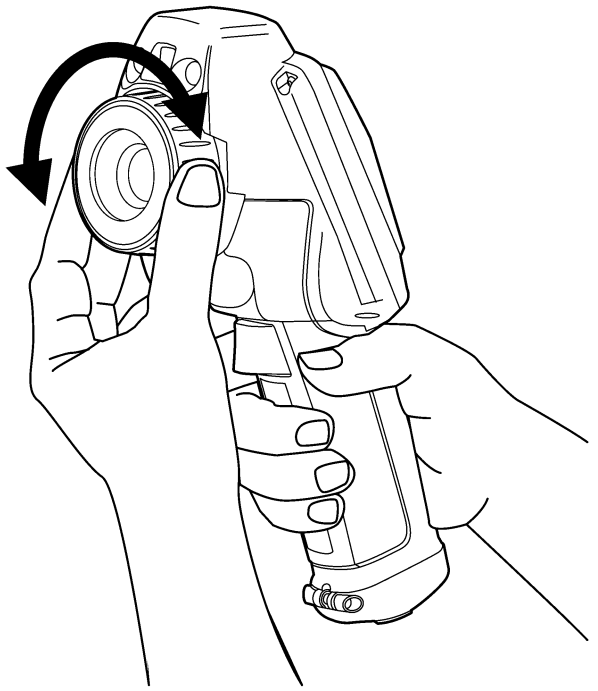
Um den Kameramodus zu ändern, gehen Sie folgendermaßen vor:

1	Um das Hauptmenü anzuzeigen, drücken Sie auf **Menü**.
2	Um **Kamera** auszuwählen, drücken Sie die Navigationstaste nach oben/unten.
3	Um das Menü zu aktivieren, drücken Sie auf **Auswählen**.
4	Wählen Sie eine der folgenden Optionen über die Navigationstaste aus: ▪ **Infrarot** ▪ **Digitalkamera** ▪ **Bild-im-Bild**
5	Drücken Sie auf **Auswählen**.

13.2 Einstellen des Kamerafokus

Abbildung

1078210 3;a1



Vorgehensweise

Um den Kamerafokus einzustellen, gehen Sie folgendermaßen vor:

1	Halten Sie die Kamera fest in einer Hand.
2	Halten Sie mit der anderen Hand den Fokusring fest.
3	Führen Sie eine der folgenden Aktionen durch: ▪ Für die Ferneinstellung drehen Sie den Fokusring gegen den Uhrzeigersinn. ▪ Für die Naheinstellung drehen Sie den Fokusring im Uhrzeigersinn.

13.3 Durchführen eines automatischen Abgleichs eines Bildes

Allgemein

Um für das Bild optimale Helligkeit und Kontrast zu erzielen, schalten Sie die Kamera vor dem Messen der Temperatur und dem Speichern des Bildes in den Automatikmodus.

Vorgehensweise

Wenn rechts unten auf dem Bildschirm der Buchstabe **M** angezeigt wird, drücken Sie einmal auf **Man**/**Auto**, um das Bild automatisch einzustellen.

HINWEIS

Wenn rechts unten auf dem Bildschirm der Buchstabe **A** angezeigt wird, befindet sich die Kamera bereits im Automatikmodus, so dass optimale Helligkeit und Kontrast erzielt werden.

13.4 Manuelle Bildeinstellung

Allgemein

Wenn Sie ein Objekt mit vielen unterschiedlichen Temperaturen analysieren möchten, können Sie für verschiedene Bereiche des Objektes die Farben der Skala verwenden.

Im Bild links unten wäre eine korrekte Analyse des eingekreisten Kabels schwierig, wenn Sie das Bild nur automatisch einstellen. Sie können das Kabel genauer analysieren, wenn Sie folgende Werte erhöhen oder verringern:

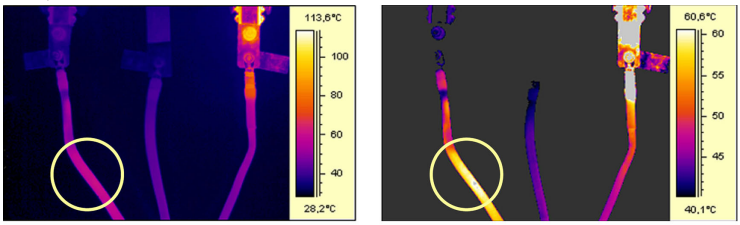
- den **maximalen** Temperaturwert,
- den **minimalen** Temperaturwert
- oder den **maximalen und minimalen** Temperaturwert gleichzeitig.

Abbildung

Diese Abbildung zeigt zwei Infrarotbilder von Kabelanschlüssen.

Das Bild links wurde automatisch eingestellt. Im Bild rechts wurden die Werte für die maximale und die minimale Temperatur an die nähere Umgebung des Objekts angepasst. An den Temperaturskalen rechts neben den beiden Bildern können Sie sehen, wie die Temperaturwerte verändert wurden.

10577503;a2



A (automatic) M (manual)

SIEHE AUCH

Informationen zur manuellen Einstellung von Bildern finden Sie in folgenden Abschnitten:

- Abschnitt 13.4.1 – Erhöhen oder Verringern des maximalen Temperaturwertes auf Seite 31.
- Abschnitt 13.4.2 – Erhöhen oder Verringern des minimalen Temperaturwertes auf Seite 32.
- Abschnitt 13.4.3 – Gleichzeitiges Ändern des maximalen und minimalen Temperaturwertes auf Seite 33.

13.4.1 Erhöhen oder Verringern des maximalen Temperaturwertes

Vorgehensweise

Um den **maximalen** Temperaturwert zu erhöhen oder verringern, gehen Sie folgendermaßen vor:

1	Führen Sie eine der folgenden Aktionen durch: ▪ Wenn rechts unten auf dem Bildschirm der Buchstabe **A** angezeigt wird, drücken Sie einmal auf **Man**/**Auto**. ▪ Wenn rechts unten auf dem Bildschirm der Buchstabe **M** angezeigt wird, fahren Sie unten mit Schritt 2 fort.
2	Um auszuwählen, drücken Sie die Navigationstaste nach rechts/links.
3	Um den Wert zu ändern, drücken Sie die Navigationstaste nach oben/unten.

13.4.2 Erhöhen oder Verringern des minimalen Temperaturwertes

Vorgehensweise

Um den **minimalen** Temperaturwert zu erhöhen oder verringern, gehen Sie folgendermaßen vor:

1	Führen Sie eine der folgenden Aktionen durch: ▪ Wenn rechts unten auf dem Bildschirm der Buchstabe **A** angezeigt wird, drücken Sie einmal auf **Man**/**Auto**. ▪ Wenn rechts unten auf dem Bildschirm der Buchstabe **M** angezeigt wird, fahren Sie unten mit Schritt 2 fort.
2	Um auszuwählen, drücken Sie die Navigationstaste nach rechts/links.
3	Um den Wert zu ändern, drücken Sie die Navigationstaste nach oben/unten.

13.4.3 Gleichzeitiges Ändern des maximalen und minimalen Temperaturwertes

Vorgehensweise

Um die maximale und minimale Temperatur gleichzeitig zu ändern, gehen Sie folgendermaßen vor:

1	Führen Sie eine der folgenden Aktionen durch: ▪ Wenn rechts unten auf dem Bildschirm der Buchstabe **A** angezeigt wird, drücken Sie einmal auf **Man**/**Auto**. ▪ Wenn rechts unten auf dem Bildschirm der Buchstabe **M** angezeigt wird, fahren Sie unten mit Schritt 2 fort.
2	Um auszuwählen, drücken Sie die Navigationstaste nach rechts/links.
3	Um den Wert zu ändern, drücken Sie die Navigationstaste nach oben/unten.

14 Arbeiten mit Messungen

14.1 Messen der Temperatur mit Hilfe eines Messpunktes

Allgemein

Sie können die Temperatur mit Hilfe eines festen Messpunktes in der Mitte des Bildschirms messen.

Vorgehensweise

Gehen Sie folgendermaßen vor, um die Temperatur mit Hilfe eines festen Messpunktes zu messen:

1	Um das Hauptmenü anzuzeigen, drücken Sie auf **Menü**.
2	Um **Messung** auszuwählen, drücken Sie die Navigationstaste nach oben/unten.
3	Um das Menü zu aktivieren, drücken Sie auf **Auswählen**.
4	Um **Temperatur** auszuwählen, drücken Sie die Navigationstaste nach oben/unten.
5	Um die Änderungen zu speichern und das Menü zu schließen, drücken Sie auf **Auswählen**.
6	Richten Sie die Kamera auf das Objekt, dessen Temperatur Sie messen möchten. Die Temperatur wird in der linken oberen Ecke des Bildschirms angezeigt.

HINWEIS

Damit die Temperatur richtig angezeigt wird, muss das Objekt den Kreis in der Mitte des Messpunktes vollständig ausfüllen.

14.2 Messen der Temperatur mit Hilfe eines Bereichs

Allgemein

Sie können die Minimal- oder Maximaltemperatur mit Hilfe eines festen Bereichs in der Mitte des Bildschirms messen.

Vorgehensweise

Gehen Sie folgendermaßen vor, um die Minimal- oder Maximaltemperatur mit Hilfe eines festen Bereichs zu messen:

1	Um das Hauptmenü anzuzeigen, drücken Sie auf **Menü**.
2	Um **Messung** auszuwählen, drücken Sie die Navigationstaste nach oben/unten.
3	Um das Menü zu aktivieren, drücken Sie auf **Auswählen**.
4	Führen Sie eine der folgenden Aktionen durch: ▪ Um einen Bereich zu erstellen, dessen Minimaltemperatur links oben im Bildschirm angezeigt wird, drücken Sie den Joystick nach oben/unten, um **Min. Bereich** auszuwählen, und drücken Sie **Auswählen**. ▪ Um einen Bereich zu erstellen, dessen Maximaltemperatur links oben im Bildschirm angezeigt wird, drücken Sie den Joystick nach oben/unten, um **Max. Bereich** auszuwählen, und drücken Sie **Auswählen**.
5	Richten Sie die Kamera auf das Objekt, dessen Temperatur Sie messen möchten.

15 Arbeiten mit Alarmsignalen

15.1 Einstellen des Farbalarms

Allgemein

Bei einem Farbalarm wird allen Temperaturen, die oberhalb oder unterhalb eines festgelegten Temperaturwertes liegen, eine eigene Farbe zugewiesen.

Vorgehensweise

Um den Farbalarm einzustellen, gehen Sie folgendermaßen vor:

1	Um das Hauptmenü anzuzeigen, drücken Sie auf **Menü**.
2	Um **Messung** auszuwählen, drücken Sie die Navigationstaste nach oben/unten.
3	Um das Menü zu aktivieren, drücken Sie auf **Auswählen**.
4	Führen Sie eine der folgenden Aktionen durch: ▪ Um einen Farbalarm **unterhalb** eines festgelegten Temperaturwertes einzustellen, drücken Sie den Joystick nach oben/unten, und wählen Sie **Unterhalb** aus. ▪ Um den Farbalarm **oberhalb** eines festgelegten Temperaturwertes einzustellen, drücken Sie die Navigationstaste nach oben/unten und wählen Sie **Oberhalb** aus.
5	Drücken Sie auf **Auswählen**.
6	Um den Temperaturwert zu ändern, drücken Sie die Navigationstaste nach oben/unten.

HINWEIS

Sie können einen Farbalarm für einen Temperaturwert einstellen, der außerhalb des aktuellen Temperaturbereichs liegt. Dies bedeutet, dass das Bild vollständig von der Alarmfarbe bedeckt sein wird oder dass die Alarmfarbe überhaupt nicht zu sehen sein wird.

Falls dies versehentlich geschehen ist, haben Sie folgende Möglichkeiten:

- Ändern Sie den Temperaturwert für den Farbalarm erneut.
- Ändern Sie den Wertebereich der Temperaturskala (siehe Abschnitt 13.4 – Manuelle Bildeinstellung auf Seite 30).

15.2 Einstellen eines Taupunktalarms

Allgemein

Unter dem Taupunkt versteht man die Temperatur, bei der die Feuchtigkeit in einem bestimmten Luftvolumen zu Wasser kondensiert. An diesem Punkt beträgt die relative Luftfeuchtigkeit 100 %.

Wenn Sie mehrere Umgebungsparameter festgelegt haben, kann der **Taupunkt**alarm diese Bereiche mit Kondensationsrisiko erkennen und mögliche Mängel in der Gebäudestruktur melden.

Vorgehensweise

Um den Taupunktalarm einzustellen, gehen Sie folgendermaßen vor:

1	Um das Hauptmenü anzuzeigen, drücken Sie auf **Menü**.
2	Um **Messung** auszuwählen, drücken Sie die Navigationstaste nach oben/unten.
3	Um das Menü zu aktivieren, drücken Sie auf **Auswählen**.
4	Drücken Sie den Joystick nach oben/unten, um die Option **Taupunkt** auszuwählen.
5	Um das Menü zu aktivieren, drücken Sie auf **Auswählen**.
6	Legen Sie die relative Feuchtigkeit und die Atmosphärentemperatur mit Hilfe der Navigationstaste sowie der rechten und linken Auswahltaste fest. Wenn Sie diese Parameter ändern und **Auswählen** drücken, ändert sich der Taupunkt entsprechend.
7	Um die Änderungen zu speichern und das Menü zu schließen, drücken Sie auf **Schließen**.
8	Richten Sie die Kamera auf den gewünschten Bereich. Kritische Bereiche werden in Grün dargestellt.

SIEHE AUCH

Informationen zu den theoretischen Grundlagen des Taupunktalarms finden Sie in Abschnitt 24.3.7 – Feuchtigkeit und Taupunkt auf Seite 117.

15.3 Einstellen eines Wärmedämmungsalarms

Allgemein

Der **Wärmedämmung**salarm kann Bereiche in Gebäuden erkennen, in denen ein Wärmedämmungsmangel vorliegt. Er wird ausgelöst, wenn der Wärmedämmungsgrad unter einen festgelegten Wert für den Energieverlust durch eine Wand fällt.

In den verschiedenen Bauvorschriften werden jeweils unterschiedliche Werte für den Wärmedämmungsgrad empfohlen, typische Werte für Neubauten sind jedoch 0,6 – 0,8. Informieren Sie sich in den national gültigen Bauvorschriften über die empfohlenen Werte.

Vorgehensweise

Gehen Sie folgendermaßen vor, um einen Wärmedämmungsalarm festzulegen:

1	Um das Hauptmenü anzuzeigen, drücken Sie auf **Menü**.
2	Um **Messung** auszuwählen, drücken Sie die Navigationstaste nach oben/unten.
3	Um das Menü zu aktivieren, drücken Sie auf **Auswählen**.
4	Drücken Sie den Joystick nach oben/unten, um die Option **Wärmedämmung** auszuwählen.
5	Um das Menü zu aktivieren, drücken Sie auf **Auswählen**.
6	Legen Sie folgende Parameter mit Hilfe des Joysticks sowie der rechten und linken Auswahltaste fest: ▪ **Außentemp.** ▪ **Innentemp.** ▪ **Wärmedämmungsgrad (%)** Wenn Sie diese Parameter ändern und **Auswählen** drücken, wird die Wärmedämmungstemperatur (**Temp. Wärmedämmung**) automatisch geändert.
7	Um die Änderungen zu speichern und das Menü zu schließen, drücken Sie auf **Schließen**.
8	Richten Sie die Kamera auf den gewünschten Bereich. Kritische Bereiche werden in Grün dargestellt.

SIEHE AUCH

Informationen zu den theoretischen Grundlagen des Wärmedämmungsalarms finden Sie in Abschnitt 24.3.8 – Auszug aus technischem Hinweis ‘Bewertung von Wärmebrücken und durchgehender Wärmedämmung’ (Beispiel für Großbritannien) auf Seite 119.

16 Arbeiten mit Dateien

16.1 Speichern von Bildern

Allgemein

Sie können ein oder mehrere Bilder auf der MicroSD™-Speicherkarte speichern.

Formatieren von Speicherkarten

Eine optimale Leistung lässt sich erzielen, wenn Sie die Speicherkarten als FAT (FAT16) formatieren. Die Verwendung von als FAT32 formatierten Speicherkarten kann die Leistung beeinträchtigen. Gehen Sie folgendermaßen vor, um eine Speicherkarte als FAT (FAT16) zu formatieren:

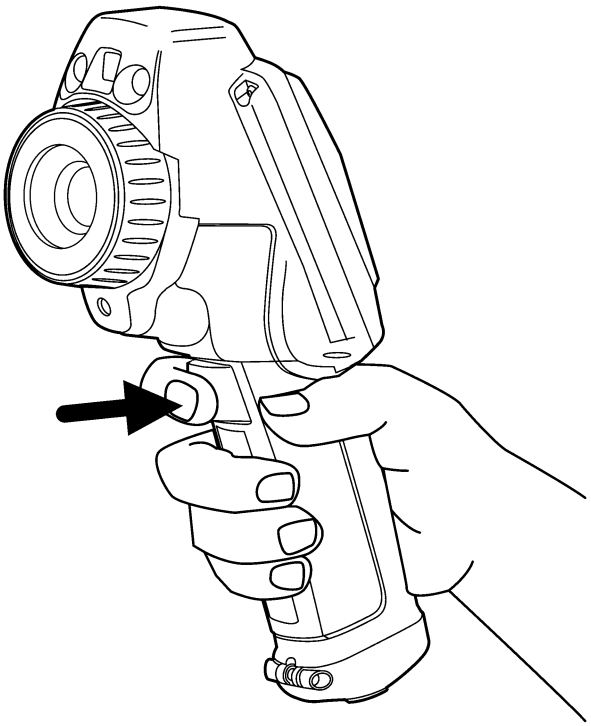
1	Legen Sie die Speicherkarte in ein Kartenlesegerät ein, das an Ihren Computer angeschlossen ist.
2	Wählen Sie im Windows® Explorer den **Desktop** aus und klicken Sie mit der rechten Maustaste auf die Speicherkarte.
3	Wählen Sie **Formatieren**.
4	Wählen Sie unter **Dateisystem** die Option **FAT** aus.
5	Klicken Sie auf **Start**.

Benennungskonventionen

Die Benennungskonvention für Bilder sieht folgendermaßen aus: **IR_xxxx.jpg**. **xxxx** steht hierbei für eine eindeutige Nummerierung. Wenn Sie **Standard wiederherstellen** auswählen, setzt die Kamera den Zähler zurück und weist der neuen Datei den ersten höchsten Dateinamen zu, der frei ist.

Abbildung

10782403;a1



Vorgehensweise

Drücken Sie die Trigger-Taste und lassen Sie sie los, um ein Bild auf der MicroSD™-Speicherkarte zu speichern.

HINWEIS

- Wenn Sie ein Bild im Kameraspeicher speichern, wird auch der Messwert gespeichert.
- Sie können über 1.000 Bilder auf der MicroSD™-Speicherkarte speichern.
- Das Bilddateiformat ist mit FLIR Reporter 8.3 und höher kompatibel.

16.2 Öffnen von Bildern

Allgemein

Wenn Sie ein Bild speichern, erfolgt die Speicherung auf der MicroSD™-Speicherkarte.

Um das Bild erneut anzuzeigen, können Sie es auf der MicroSD™-Speicherkarte öffnen.

Vorgehensweise

Um ein Bild zu öffnen, gehen Sie folgendermaßen vor:

1	Drücken Sie die Kamera-/Archiv-Taste, um das Bildarchiv zu öffnen.
2	Führen Sie eine der folgenden Aktionen durch: ▪ Um zu dem Bild zu gelangen, das Sie öffnen möchten, drücken Sie die Navigationstaste nach rechts/links. ▪ Um Miniaturansichten für alle Bilder anzuzeigen, drücken Sie die Navigationstaste, und gehen Sie folgendermaßen vor: **1** Um das Bild auszuwählen, das Sie öffnen möchten, drücken Sie die Navigationstaste nach oben/unten bzw. rechts/links. **2** Um das Bild zu öffnen, drücken Sie auf **Öffnen**.
3	Um zum Live-Infrarotbild zurückzukehren, drücken Sie die Kamera-/Archiv-Taste.

16.3 Löschen von Bildern

Allgemein

Sie können ein Bild von der MicroSD™-Speicherkarte löschen.

Vorgehensweise

Um ein Bild zu löschen, gehen Sie folgendermaßen vor:

1	Drücken Sie die Kamera-/Archiv-Taste, um das Bildarchiv zu öffnen.
2	Führen Sie eine der folgenden Aktionen durch: ▪ Um das angezeigte Bild zu löschen, drücken Sie **Optionen**, wählen Sie anschließend **Löschen** und bestätigen Sie den Löschvorgang. ▪ Um ein weiteres Bild zu löschen, fahren Sie unten mit Schritt 3 fort.
3	Um Miniaturansichten für alle Bilder anzuzeigen, drücken Sie die Navigationstaste nach oben.
4	Um das Bild auszuwählen, das Sie löschen möchten, drücken Sie die Navigationstaste nach oben/unten bzw. rechts/links.
5	Drücken Sie auf **Optionen**.
6	Drücken Sie auf **Löschen**.
7	Bestätigen Sie den Vorgang durch Drücken von **Löschen**.

16.4 Löschen aller Bilder

Allgemein

Sie können alle Bilder von der MicroSD™-Speicherkarte löschen.

Vorgehensweise

Um alle Bilder zu löschen, gehen Sie folgendermaßen vor:

1	Drücken Sie die Kamera-/Archiv-Taste, um das Bildarchiv zu öffnen.
2	Um Miniaturansichten für alle Bilder anzuzeigen, drücken Sie die Navigationstaste nach oben.
3	Drücken Sie auf **Optionen**.
4	Drücken Sie auf **Alle Bilder löschen**.
5	Bestätigen Sie den Vorgang durch Drücken von **Alle Bilder löschen**.

16.5 Hinzufügen von Sprachkommentaren zu einem Bild

Allgemein

Ein Sprachkommentar ist eine Audioaufzeichnung, die in einem Infrarotbild gespeichert wird.

Der Sprachkommentar wird mit Hilfe eines Bluetooth®-Headsets aufgezeichnet. Die Aufnahme kann in der Kamera sowie mit Bildanalyse- und Berichterstellungssoftware von FLIR Systems wiedergegeben werden.

Kommentare ermöglichen eine effizientere Berichterstellung und Nachbearbeitung, da sie wichtige Informationen zum Bild enthalten.

HINWEIS

Bei diesem Verfahren ist eine Verbindung der Bluetooth®-Geräte erforderlich. Informationen hierzu finden Sie in Abschnitt 11 – Verbinden von Bluetooth®-Geräten auf Seite 23.

Vorgehensweise

Gehen Sie folgendermaßen vor:

1	Drücken Sie die Kamera-/Archiv-Taste, um das Bildarchiv zu öffnen.
2	Führen Sie eine der folgenden Aktionen durch: ▪ Drücken Sie die Navigationstaste nach rechts/links, um zu dem Bild zu gelangen, zu dem Sie einen Sprachkommentar hinzufügen möchten. ▪ Um Miniaturansichten für alle Bilder anzuzeigen, drücken Sie die Navigationstaste, und gehen Sie folgendermaßen vor: **1** Drücken Sie die Navigationstaste nach oben/unten bzw. rechts/links, um das Bild auszuwählen, zu dem Sie einen Sprachkommentar hinzufügen möchten. **2** Um das Bild zu öffnen, drücken Sie auf **Öffnen**.
3	Drücken Sie auf **Optionen**.
4	Um **Sprachkommentar** auszuwählen, drücken Sie die Navigationstaste nach oben/unten. Drücken Sie anschließend **Auswählen**.
5	Um **Gerät hinzufügen** auszuwählen, drücken Sie die Navigationstaste nach oben/unten. Drücken Sie anschließend **Auswählen**.
6	Gehen Sie folgendermaßen vor: ▪ Um eine Aufnahme zu starten, drücken Sie **Aufzeichnen**. ▪ Um eine Aufnahme zu beenden, drücken Sie **Stopp**.
7	Um zu dem Live-Infrarotbild zurückzukehren, drücken Sie **Schließen**, und bestätigen Sie, dass Sie den Sprachkommentar speichern möchten.

16.6 Wiedergabe von Sprachkommentaren

Allgemein

Sie können einen zum Bild hinzugefügten Sprachkommentar wiedergeben.

HINWEIS

Die Kamera besitzt keinen Lautsprecher. Daher benötigen Sie für die Wiedergabe von Sprachkommentaren das Headset.

Vorgehensweise

Gehen Sie folgendermaßen vor:

1	Drücken Sie die Kamera-/Archiv-Taste, um das Bildarchiv zu öffnen.
2	Führen Sie eine der folgenden Aktionen durch: ▪ Drücken Sie die Navigationstaste nach rechts/links, um zu dem Bild zu gelangen, dessen Sprachkommentar Sie wiedergeben möchten. ▪ Um Miniaturansichten für alle Bilder anzuzeigen, drücken Sie die Navigationstaste, und gehen Sie folgendermaßen vor: **1** Drücken Sie die Navigationstaste nach oben/unten bzw. rechts/links, um das Bild auszuwählen, dessen Sprachkommentar Sie wiedergeben möchten. **2** Um das Bild zu öffnen, drücken Sie auf **Öffnen**.
3	Drücken Sie auf **Optionen**.
4	Um **Sprachkommentar** auszuwählen, drücken Sie die Navigationstaste nach oben/unten. Drücken Sie anschließend **Auswählen**.
5	Um **Wiedergeben** auszuwählen, drücken Sie die Navigationstaste nach oben/unten. Drücken Sie anschließend **Auswählen**.
6	Gehen Sie folgendermaßen vor: ▪ Um mit der Wiedergabe des Sprachkommentars zu beginnen, drücken Sie **Wiedergeben**. ▪ Um die Wiedergabe des Sprachkommentars zu beenden, drücken Sie **Pause**.
7	Um zu dem Live-Infrarotbild zurückzukehren, drücken Sie **Schließen**.

16.7 Löschen von Sprachkommentaren

Allgemein

Sie können einen zum Bild hinzugefügten Sprachkommentar löschen.

Vorgehensweise

Gehen Sie folgendermaßen vor:

1	Drücken Sie die Kamera-/Archiv-Taste, um das Bildarchiv zu öffnen.
2	Führen Sie eine der folgenden Aktionen durch: ▪ Drücken Sie die Navigationstaste nach rechts/links, um zu dem Bild zu gelangen, dessen Sprachkommentar Sie löschen möchten. ▪ Um Miniaturansichten für alle Bilder anzuzeigen, drücken Sie die Navigationstaste, und gehen Sie folgendermaßen vor: **1** Drücken Sie die Navigationstaste nach oben/unten bzw. rechts/links, um das Bild auszuwählen, dessen Sprachkommentar Sie löschen möchten. **2** Um das Bild zu öffnen, drücken Sie auf **Öffnen**.
3	Drücken Sie auf **Optionen**.
4	Um **Sprachkommentar** auszuwählen, drücken Sie die Navigationstaste nach oben/unten. Drücken Sie anschließend **Auswählen**.
5	Um **Löschen** auszuwählen, drücken Sie die Navigationstaste nach oben/unten. Drücken Sie anschließend **Auswählen**.
6	Bestätigen Sie, dass Sie den Sprachkommentar löschen möchten.
7	Um zu dem Live-Infrarotbild zurückzukehren, drücken Sie **Schließen**.

16.8 Verschieben von Bildern auf einen PC

Allgemein

Sie können ein oder mehrere Bilder von der Kamera auf einen Computer verschieben.

Methoden – Übersicht

Es gibt drei verschiedene Methoden zum Verschieben von Bildern von der Kamera auf einen Computer:

- **Methode 1:** Bilder verschieben, wenn die Kamera als USB-Laufwerk fungiert. Bei dieser Methode müssen Sie FLIR QuickReport nicht auf Ihrem Computer installieren.
- **Methode 2:** Bilder verschieben, wenn die Kamera an einen PC angeschlossen ist, auf dem FLIR QuickReport installiert ist. FLIR QuickReport verfügt über Funktionen zur Bildbearbeitung und Erstellung von PDF-Berichten.
- **Methode 3:** Bilder mit Hilfe der MicroSD™-Speicherkarte von der Kamera auf den PC verschieben.

Ausrüstung

Um die Bilder von der Kamera zu verschieben, benötigen Sie folgende Ausrüstung:

- Einen Computer mit einem IBM-PC-Betriebssystem
- FLIR QuickReport-Software ist auf dem Computer installiert (nur für **Methode 2**)
- Ein USB-Kabel

Methode 1

Gehen Sie folgendermaßen vor, um Bilder zu verschieben, wenn die Kamera als USB-Laufwerk fungiert:

1	Um das Hauptmenü anzuzeigen, drücken Sie auf **Menü**.
2	Um **Einstellungen** auszuwählen, drücken Sie die Navigationstaste nach oben/unten.
3	Um das Menü **Einstellungen** zu aktivieren, drücken Sie auf **Auswählen**.
4	Um **USB-Kabel** auszuwählen, drücken Sie die Navigationstaste nach oben/unten.
5	Um **Standard** auszuwählen, drücken Sie die Navigationstaste nach oben/unten.
6	Klicken Sie auf **OK**.
7	Schließen Sie die Kamera an, und öffnen Sie den Windows® Explorer, um die Bilder per Drag-and-Drop von der Kamera auf den Computer zu verschieben.

HINWEIS

- Wenn Sie **Standard** auswählen, wird in der Kamera ein Hilfetext angezeigt. Lesen Sie den Text aufmerksam durch.
- Wenn als USB-Modus **Standard** eingestellt ist, wird die Kamera ausgeschaltet, wenn **Autom. Abschaltung** aktiviert ist.

Methode 2

Gehen Sie folgendermaßen vor, um Bilder auf einen PC zu verschieben, auf dem FLIR QuickReport installiert ist.

1	Um das Hauptmenü anzuzeigen, drücken Sie auf **Menü**.
2	Um **Einstellungen** auszuwählen, drücken Sie die Navigationstaste nach oben/unten.
3	Um das Menü **Einstellungen** zu aktivieren, drücken Sie auf **Auswählen**.
4	Um **USB-Kabel** auszuwählen, drücken Sie die Navigationstaste nach oben/unten.
5	Um **Netzlaufwerk** auszuwählen, drücken Sie die Navigationstaste nach oben/unten.
6	Klicken Sie auf **OK**.
7	Schließen Sie Kamera wie im Benutzerhandbuch für FLIR QuickReport beschrieben an den Computer an.
8	Weitere Anweisungen finden Sie im Benutzerhandbuch für FLIR QuickReport.

HINWEIS

Wenn Sie **Netzlaufwerk** auswählen, wird in der Kamera ein Hilfetext angezeigt. Lesen Sie den Text aufmerksam durch.

16.9 Kopieren eines Bildes in ein externes USB-Laufwerk

Allgemein

Sie können ein Bild von der MicroSD™-Speicherkarte in ein externes USB-Laufwerk kopieren.

Vorgehensweise

Gehen Sie folgendermaßen vor:

1	Drücken Sie die Kamera-/Archiv-Taste, um das Bildarchiv zu öffnen.
2	Um Miniaturansichten für alle Bilder anzuzeigen, drücken Sie die Navigationstaste nach oben.
3	Wählen Sie das Bild, das Sie kopieren möchten, mit Hilfe des Joysticks aus.
4	Drücken Sie auf **Optionen**.
5	Wählen Sie **In USB-Laufwerk kopieren**.

16.10 Kopieren aller Bilder in ein externes USB-Laufwerk

Allgemein

Sie können alle Bilder von der MicroSD™-Speicherkarte in ein externes USB-Laufwerk kopieren.

Vorgehensweise

Gehen Sie folgendermaßen vor:

1	Drücken Sie die Kamera-/Archiv-Taste, um das Bildarchiv zu öffnen.
2	Drücken Sie auf **Optionen**.
3	Wählen Sie **Alles in USB-Laufwerk kopieren**.

17 Ändern der Kameraeinstellungen

17.1 Ändern der Farben

Allgemein

Sie können die Farben ändern, mit denen die Kamera die verschiedenen Temperaturen anzeigt. Unterschiedliche Farben erleichtern unter Umständen die Analyse des Bildes.

Vorgehensweise

Um die Farbe zu ändern, gehen Sie folgendermaßen vor:

1	Um das Hauptmenü anzuzeigen, drücken Sie auf **Menü**.
2	Um **Farbpalette** auszuwählen, drücken Sie die Navigationstaste nach oben/unten.
3	Um das Menü zu aktivieren, drücken Sie auf **Auswählen**.
4	Um eine andere Farbe auszuwählen, drücken Sie die Navigationstaste nach oben/unten.
5	Um das Menü zu schließen, drücken Sie auf **Auswählen**.

17.2 Ändern des Emissionsgrads

Allgemein

Der Emissionsgrad ist ein Wert, der angibt, wie viel Strahlung ein Objekt im Vergleich zu einem theoretischen Referenzobjekt mit derselben Temperatur (ein so genannter Schwarzkörper) abgibt. Die Strahlung eines Objekts setzt sich aus der Summe der von ihm ausgehenden und von ihm reflektierten Strahlung zusammen.

Für die meisten Anwendungen ist ein Wert von 0,96 akzeptabel, ausgenommen für glänzende Metalle.

Beispielwerte

Asphalt	0,96
Band	0,96
Beton	0,97
Gummi	0,95
Holz	0,85
Lacke	0,90
Leder	0,98
Rost	0,80
Stukkatur	0,91
Wasser	0,96
Ziegel	0,75

Vorgehensweise

Um den Emissionsgrad zu ändern, gehen Sie folgendermaßen vor:

1	Um das Hauptmenü anzuzeigen, drücken Sie auf **Menü**.
2	Um **Parameter** auszuwählen, drücken Sie die Navigationstaste nach oben/unten.
3	Um das Menü zu aktivieren, drücken Sie auf **Auswählen**.
4	Um **Emissionsgrad** auszuwählen, drücken Sie die Navigationstaste nach oben/unten.
5	Um das Menü **Emissionsgrad** zu aktivieren, drücken Sie auf **Auswählen**.

6	Führen Sie eine der folgenden Aktionen durch: ▪ Gehen Sie folgendermaßen vor: **1** Wählen Sie die Option **Emissionsgrad** mit Hilfe des Joysticks aus. **2** Drücken Sie auf **Auswählen**. **3** Ändern Sie den Wert mit Hilfe des Joysticks. **4** Drücken Sie zur Bestätigung **Auswählen**. ▪ Gehen Sie folgendermaßen vor: **1** Wählen Sie die Option **Materialien** mit Hilfe des Joysticks aus. **2** Drücken Sie auf **Auswählen**. **3** Wählen Sie mit Hilfe des Joysticks ein Material aus. **4** Drücken Sie zur Bestätigung **Auswählen**.

HINWEIS

Wenn Sie einen Emissionsgrad unter 0,5 einstellen, wird auf dem Bildschirm eine Warnung angezeigt. Diese weist Sie darauf hin, dass der Wert ungewöhnlich niedrig ist.

17.3 Ändern der reflektierten scheinbaren Temperatur

Allgemein

Für besonders exakte Messergebnisse müssen Sie die reflektierte scheinbare Temperatur einstellen.

Die reflektierte scheinbare Temperatur kompensiert die Umgebungsstrahlung, die von dem Objekt in die Kamera reflektiert wird.

Wenn der Emissionsgrad niedrig ist und die Objekttemperatur deutlich von der reflektierten scheinbaren Temperatur abweicht, ist es besonders wichtig, dass die reflektierte scheinbare Temperatur richtig eingestellt ist.

Typische Beispiele

Beispiele für Situationen, in denen die Einstellung der reflektierten scheinbaren Temperatur besonders wichtig ist:

- Einsatz der Kamera zur Untersuchung eines heißen Gegenstandes in kalter Winterluft.
- Einsatz der Kamera zur Untersuchung eines Gegenstandes in einem Raum, an dessen entgegengesetztem Ende sich ein heißer Ofen oder Schaltschrank befindet.

Vorgehensweise

Um die reflektierte scheinbare Temperatur zu ändern, gehen Sie folgendermaßen vor:

1	Führen Sie eine der folgenden Aktionen durch: ▪ Wenn Sie die reflektierte scheinbare Temperatur bereits kennen, fahren Sie weiter unten mit Schritt 7 fort. ▪ Wenn Sie die reflektierte scheinbare Temperatur nicht kennen, fahren Sie weiter unten mit Schritt 2 fort.
2	Knüllen Sie ein großes Stück Aluminiumfolie zusammen.
3	Streichen Sie die Aluminiumfolie wieder glatt, und befestigen Sie sie an einem Stück Karton mit derselben Größe.
4	Platzieren Sie den Karton vor dem Objekt, an dem Sie die Messung durchführen möchten. Die Seite, an der die Aluminiumfolie befestigt ist, muss zur Kamera zeigen.
5	Stellen Sie als Emissionsgrad 1,0 ein (siehe Abschnitt 17.2 – Ändern des Emissionsgrads auf Seite 52).
6	Messen Sie die scheinbare Temperatur der Aluminiumfolie, und notieren Sie sie. Sie benötigen diesen Wert, wenn Sie unten in Schritt 12 die **Reflektierte Temp.** festlegen.
7	Um das Hauptmenü anzuzeigen, drücken Sie auf **Menü**.
8	Um **Parameter** auszuwählen, drücken Sie die Navigationstaste nach oben/unten.
9	Um das Menü zu aktivieren, drücken Sie auf **Auswählen**.
10	Um **Reflektierte Temp.** auszuwählen, drücken Sie die Navigationstaste nach oben/unten.

11	Um das Feld **Reflektierte Temp.** zu aktivieren, drücken Sie auf **Auswählen**.
12	Um einen anderen Wert auszuwählen, drücken Sie die Navigationstaste nach oben/unten.
13	Um das Menü zu schließen, drücken Sie auf **Auswählen**.

SIEHE AUCH

Weitere Informationen zum Messen der reflektierten scheinbaren Temperatur finden Sie in der ISO-Norm DIS 18343-1 und der ASTM-Norm ASTM E1862-97.

17.4 Ändern der Korrektur der externen Optik

Allgemein

Um sehr genaue Messergebnisse zu erhalten, sind folgende Einstellungen erforderlich:

- Die **Temperatur der externen Optik**, d. h. die Temperatur der Schutzfenster usw., die zwischen der Kamera und dem zu untersuchenden Objekt aufgestellt sind. Wenn keine Schutzfenster oder sonstigen Abschirmungen verwendet werden, hat dieser Wert keine Bedeutung.
- Die **Transmission der externen Optik**, d. h. die optische Transmission der Schutzfenster usw., die zwischen der Kamera und dem zu untersuchenden Objekt aufgestellt sind.

Vorgehensweise

Gehen Sie folgendermaßen vor:

1	Um das Hauptmenü anzuzeigen, drücken Sie auf **Menü**.
2	Um **Parameter** auszuwählen, drücken Sie die Navigationstaste nach oben/unten.
3	Um das Menü zu aktivieren, drücken Sie auf **Auswählen**.
4	Um **Korrektur der externen Optik** auszuwählen, drücken Sie die Navigationstaste nach oben/unten.
5	Um das Menü **Korrektur der externen Optik** zu aktivieren, drücken Sie auf **Auswählen**.
6	Führen Sie eine der folgenden Aktionen durch: ▪ Gehen Sie folgendermaßen vor: **1** Wählen Sie die Option **Temperatur ext. Opt.** mit Hilfe des Joysticks aus. **2** Drücken Sie auf **Auswählen**. **3** Ändern Sie den Wert mit Hilfe des Joysticks. **4** Drücken Sie zur Bestätigung **Auswählen**. ▪ Gehen Sie folgendermaßen vor: **1** Wählen Sie die Option **Transmission ext. Opt.** mit Hilfe des Joysticks aus. **2** Drücken Sie auf **Auswählen**. **3** Ändern Sie den Wert mit Hilfe des Joysticks. **4** Drücken Sie zur Bestätigung **Auswählen**.

17.5 Ändern weiterer Kameraeinstellungen

Allgemein

Die Kameraeinstellungen wirken sich auf die Bilder und den Kamerabetrieb aus.

Anwendungsbereich

Nachfolgende Vorgehensweise gilt für folgende Einstellungen:

- **Zusatzlampe** (Aktivieren bzw. Deaktivieren der Lampe für die Digitalkamera sowie des Picture-in-Picture-Modus)
- **Regional** (Ändern von Sprache, Einheiten und Zeitformat)
- **Uhrzeit/Datum** (Einstellen von Datum und Uhrzeit)
- **Autom. Abschaltung** (Einstellen der Zeitdauer, nach der sich die Kamera automatisch abschaltet)
- **Display-Helligkeit** (Einstellen der Display-Helligkeit)
- **Temperaturbereich** (Ändern des von der Kamera verwendeten Temperaturbereichs für Messobjekte)
- **USB-Kabel** (Einstellen des USB-Modus)
- **Firmware** (Aktualisieren der Kamera-Firmware mit einer neuen Version auf einer MicroSD™-Speicherkarte)
- **Standard wiederherstellen** (Wiederherstellen der Standardeinstellungen)

Vorgehensweise

Um die oben angegebenen Kameraeinstellungen zu ändern, gehen Sie folgendermaßen vor:

1	Um das Hauptmenü anzuzeigen, drücken Sie auf **Menü**.
2	Um **Einstellungen** auszuwählen, drücken Sie die Navigationstaste nach oben/unten.
3	Um das Menü **Einstellungen** zu aktivieren, drücken Sie auf **Auswählen**.
4	Um zu der Einstellung zu gelangen, die Sie ändern möchten, drücken Sie die Navigationstaste nach oben/unten.
5	Ändern Sie die Einstellung mit Hilfe der Navigationstaste sowie der kontextsensitiven Tasten.

HINWEIS

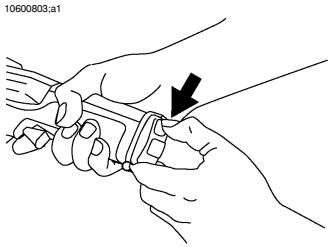
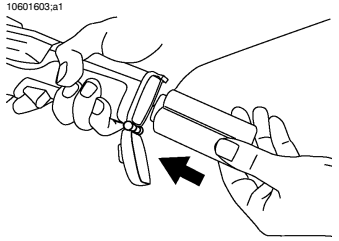
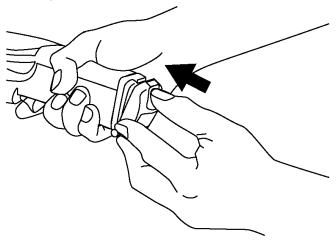
Wenn als USB-Modus **Standard** eingestellt ist, wird die Kamera ausgeschaltet, wenn **Autom. Abschaltung** aktiviert ist und die Kamera mit einem Computer verbunden bleibt und nicht verwendet wird.

18 Stromversorgung

18.1 Einsetzen des Akkus

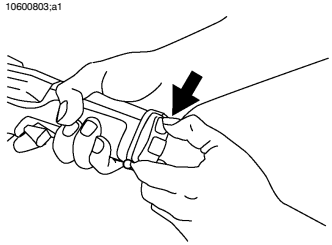
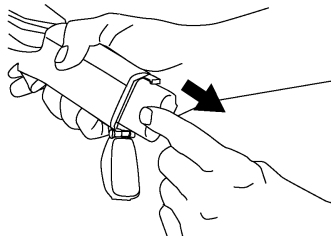
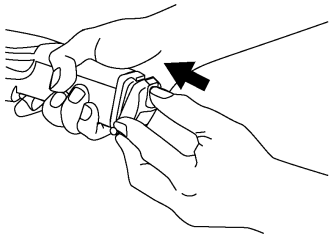
HINWEIS Um etwaige Feuchtigkeit zu entfernen, reiben Sie den Akku mit einem sauberen und trockenen Tuch ab, bevor Sie ihn einsetzen.

Vorgehensweise Um den Akku einzusetzen, gehen Sie folgendermaßen vor:

1	Um die Akkufach-Abdeckung zu öffnen, drücken Sie den Verschluss nach unten. 10600803;a1 
2	Setzen Sie den Akku in das Akkufach ein. 10601603;a1 
3	Setzen Sie die Akkufach-Abdeckung wieder ein. 10601103;a1 

18.2 Entfernen des Akkus

Vorgehensweise Um den Akku zu entfernen, gehen Sie folgendermaßen vor:

1	Um die Akkufach-Abdeckung zu öffnen, drücken Sie den Verschluss nach unten. 10600803;a1 
2	Entnehmen Sie den Akku aus dem Akkufach. 10601003;a1 
3	Setzen Sie die Akkufach-Abdeckung wieder ein. 10601103;a1 

18.3 Laden des Akkus

HINWEIS

Bevor Sie die Kamera zum ersten Mal in Betrieb nehmen können, müssen Sie den Akku vier Stunden lang laden.

Allgemein

Wenn auf dem Bildschirm die Meldung **Batterie ist schwach!** angezeigt wird, müssen Sie den Akku laden.

Um den Akku zu laden, haben Sie folgende Möglichkeiten:

- Sie können den Akku mit dem kombinierten Netzteil und Ladegerät laden, ohne ihn aus der Kamera zu nehmen.
- Sie können den Akku mit dem kombinierten Netzteil und Ladegerät laden, wenn Sie ihn aus der Kamera entnommen haben.
- Sie können den Akku mit dem Ladegerät für zwei Akkus laden. (Das Ladegerät für zwei Akkus ist nicht im Lieferumfang des Standardpakets enthalten.)

SIEHE AUCH

Informationen zum Laden des Akkus finden Sie in folgenden Abschnitten:

- Abschnitt 18.3.1 – Verwenden des kombinierten Netzteils und Ladegeräts, um den Akku in der Kamera zu laden auf Seite 61.
- Abschnitt 18.3.2 – Verwenden des kombinierten Netzteils und Ladegeräts, um den Akku außerhalb der Kamera zu laden auf Seite 62.
- Abschnitt 18.3.3 – Verwenden des Ladegeräts für zwei Akkus auf Seite 63.

18.3.1 Verwenden des kombinierten Netzteils und Ladegeräts, um den Akku in der Kamera zu laden

HINWEIS

Der Einfachheit halber wird das kombinierte Netzteil/Ladegerät in der nachfolgenden Anleitung als Netzteil bezeichnet.

Vorgehensweise

Um den Akku über das Netzteil zu laden, während er in der Kamera verbleibt, gehen Sie folgendermaßen vor:

1	Um die Akkufach-Abdeckung zu öffnen, drücken Sie den Verschluss nach unten.
2	Setzen Sie den Akku in das Akkufach ein.
3	Setzen Sie die Akkufach-Abdeckung wieder ein.
4	Öffnen Sie die Gummiabdeckung auf dem Deckel des Akkufachs, um an den Akkuanschluss zu gelangen.
5	Stecken Sie das Netzkabel in den Anschluss des Akkus ein.
6	Stecken Sie den Stecker des Netzteils in eine Steckdose ein.
7	Entfernen Sie das Kabel des Netzteils, wenn die Akkuanzeige grün leuchtet.

HINWEIS

Der Akku hat eine Akkuanzeige. Wenn die Anzeige grün leuchtet, ist der Akku ist vollständig aufgeladen.

SIEHE AUCH

- Informationen zur Akkuanzeige finden Sie in Abschnitt 8.4 – Akkuanzeige auf Seite 15.
- Informationen zum Einsetzen und Entfernen des Akkus finden Sie in Abschnitt 18.1 – Einsetzen des Akkus auf Seite 58 und in Abschnitt 18.2 – Entfernen des Akkus auf Seite 59.

18.3.2 Verwenden des kombinierten Netzteils und Ladegeräts, um den Akku außerhalb der Kamera zu laden

HINWEIS Der Einfachheit halber wird das kombinierte Netzteil/Ladegerät in der nachfolgenden Anleitung als Netzteil bezeichnet.

Vorgehensweise Um den Akku über das Netzteil zu laden, während er sich außerhalb der Kamera befindet, gehen Sie folgendermaßen vor:

1	Legen Sie den Akku auf eine ebene Oberfläche.
2	Stecken Sie das Netzkabel in den Anschluss des Akkus ein.
3	Stecken Sie den Stecker des Netzteils in eine Steckdose ein.
4	Entfernen Sie das Kabel des Netzteils, wenn die Akkuanzeige grün leuchtet.

HINWEIS Der Akku hat eine Akkuanzeige. Wenn die Anzeige grün leuchtet, ist der Akku ist vollständig aufgeladen.

SIEHE AUCH Informationen zur Akkuanzeige finden Sie in Abschnitt 8.4 – Akkuanzeige auf Seite 15.

18.3.3 Verwenden des Ladegeräts für zwei Akkus

Allgemein

Im Ladegerät für zwei Akkus können Sie zwei Akkus gleichzeitig laden.

Vorgehensweise

Um den Akku über das Ladegerät für zwei Akkus zu laden, gehen Sie folgendermaßen vor:

1	Setzen Sie den Akku in das Ladegerät für zwei Akkus ein.
2	Stecken Sie das Netzkabel in den Anschluss des Ladegeräts für zwei Akkus ein.
3	Stecken Sie den Stecker des Netzteils in eine Steckdose ein.
4	Entfernen Sie das Kabel des Netzteils, wenn die Akkuanzeige grün leuchtet.

HINWEIS

- Das Ladegerät für zwei Akkus ist nicht im Lieferumfang des Standardpakets enthalten.
- Der Akku hat eine Akkuanzeige. Wenn die Anzeige grün leuchtet, ist der Akku ist vollständig aufgeladen.

SIEHE AUCH

- Informationen zur Akkuanzeige finden Sie in Abschnitt 8.4 – Akkuanzeige auf Seite 15.
- Bilder und Informationen zu den Abmessungen des Ladegeräts für zwei Akkus finden Sie in Abschnitt 22.3 – Ladegerät für zwei Akkus auf Seite 75 und in Abschnitt 22.4 – Ladegerät für zwei Akkus mit Akku auf Seite 76.

18.4 Einschalten der Kamera

Vorgehensweise Drücken Sie die Ein/Aus-Taste, um die Kamera einzuschalten.

18.5 Ausschalten der Kamera

Vorgehensweise Halten Sie die Ein/Aus-Taste etwas länger gedrückt, um die Kamera auszuschalten.

HINWEIS Wenn Sie die Kamera nicht verwenden, schaltet sie sich nach einer bestimmten Zeit ab. Diese Zeitdauer können Sie im Menüsystem festlegen (siehe Abschnitt 17.5 – Ändern weiterer Kameraeinstellungen auf Seite 57).

19 Reinigen der Kamera

19.1 Kameragehäuse, Kabel und weitere Teile

Flüssigkeiten

Verwenden Sie eine der folgenden Flüssigkeiten:

- Warmes Wasser
- Milde Reinigungslösung

Ausrüstung

Ein weiches Tuch

Vorgehensweise

Gehen Sie folgendermaßen vor:

1	Tränken Sie das Tuch in der Flüssigkeit.
2	Wringen Sie das Tuch aus, um überschüssige Flüssigkeit zu entfernen.
3	Reinigen Sie das Teil mit dem Tuch.

VORSICHT

Verwenden Sie niemals Verdünnungsmittel oder ähnliche Flüssigkeiten für Kamera, Kabel oder Zubehör. Dies könnte zu Beschädigungen führen.

19.2 Infrarotobjektiv

Flüssigkeiten

Verwenden Sie eine der folgenden Flüssigkeiten:

- 96%iger Isopropylalkohol
- Eine handelsübliche Reinigungslösung für Objektive mit über 30%igem Isopropylalkohol

Ausrüstung

Watte

Vorgehensweise

Gehen Sie folgendermaßen vor:

1	Tränken Sie die Watte in der Flüssigkeit.
2	Drücken Sie die Watte aus, um überschüssige Flüssigkeit zu entfernen.
3	Reinigen Sie das Objektiv nur einmal, und werfen Sie die Watte weg.

WARNUNG

Lesen Sie unbedingt alle entsprechenden MSDS (Material Safety Data Sheets, Sicherheitsdatenblätter) und Warnhinweise auf den Behältern durch, bevor Sie eine Flüssigkeit verwenden: Flüssigkeiten können gefährlich sein.

VORSICHT

- Gehen Sie bei der Reinigung des Infrarotobjektivs behutsam vor. Das Objektiv ist mittels einer Beschichtung entspiegelt, die sehr empfindlich ist.
- Reinigen Sie das Infrarotobjektiv sehr vorsichtig, da andernfalls die Entspiegelung Schaden nehmen könnte.

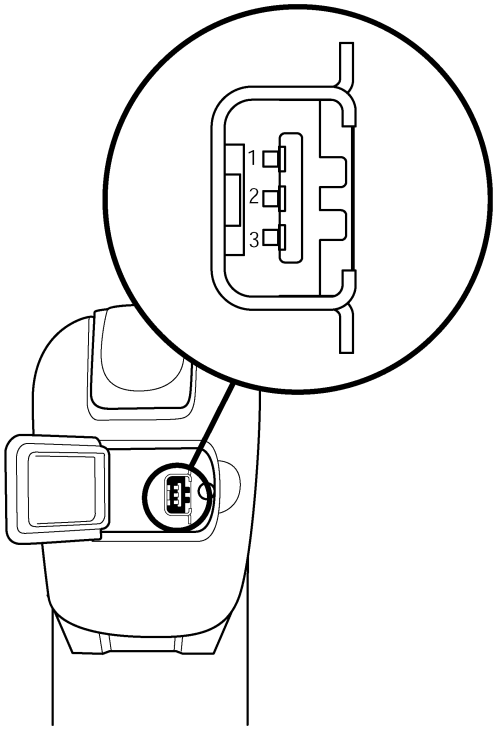
20 Technische Daten

Die technischen Daten finden Sie in den Datenblättern der Benutzerdokumentation auf einer im Lieferumfang enthaltenen CD-ROM.

21 Steckerkonfigurationen

Netzanschluss

1060l903;a1



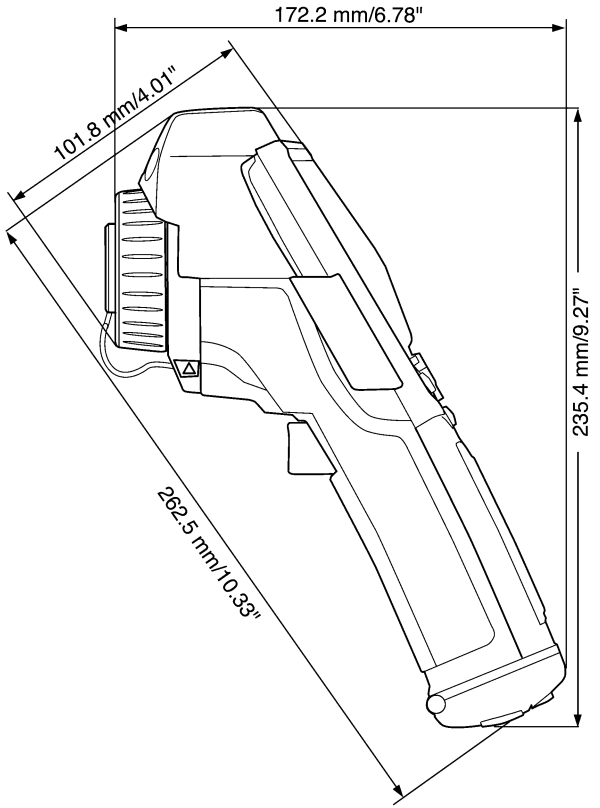
Pin	Signal
1	+12 V
2	GND
3	GND

22 Abmessungen

22.1 Kamera

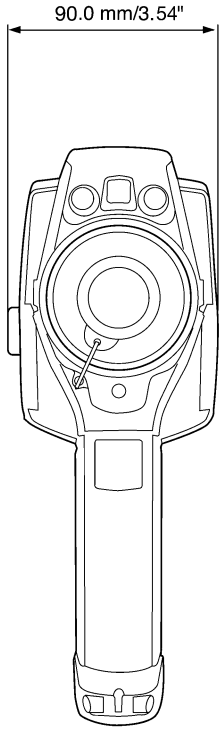
Abbildung

10781603;a1



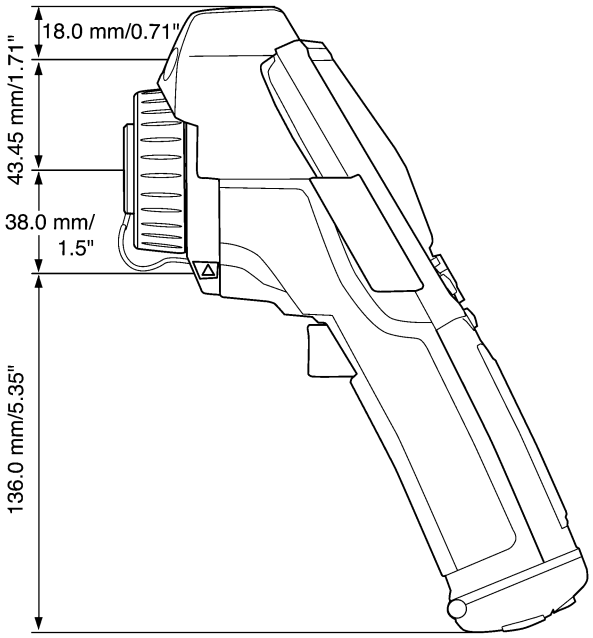
Abbildung

10781803;a2



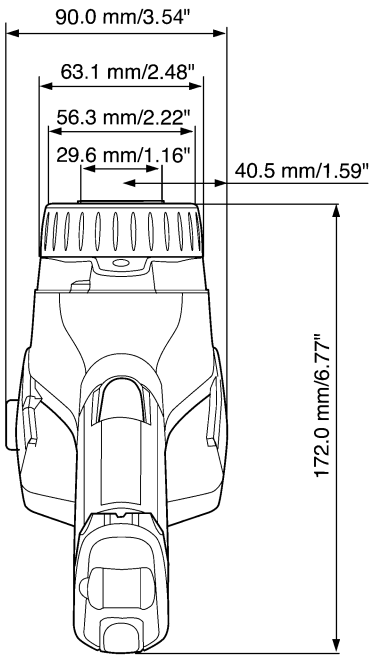
Abbildung

10781903;a1



Abbildung

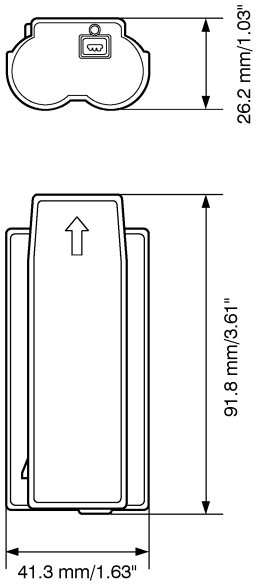
10782003;a2



22.2 Akku

Abbildung

1060210 3;a2

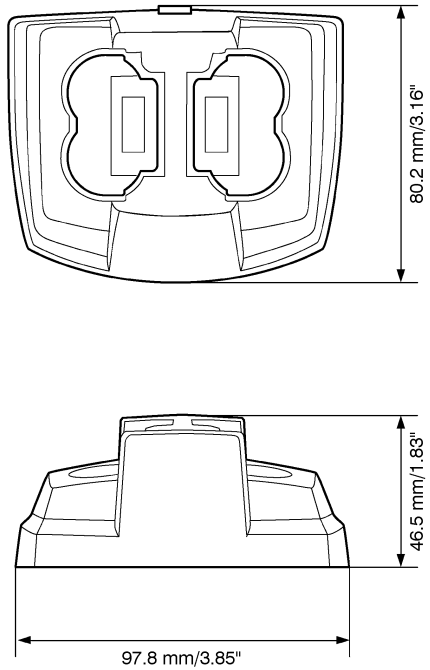


HINWEIS Um etwaige Feuchtigkeit zu entfernen, reiben Sie den Akku mit einem sauberen und trockenen Tuch ab, bevor Sie ihn einsetzen.

22.3 Ladegerät für zwei Akkus

Abbildung

10602203;a3



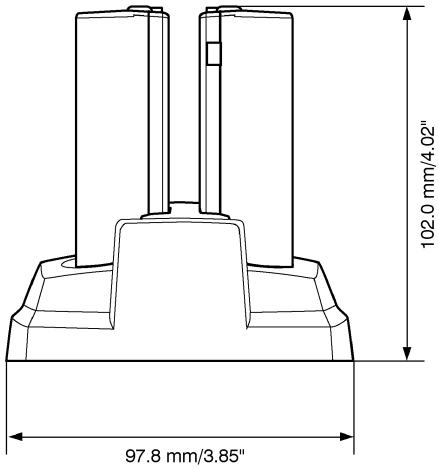
HINWEIS

- Um etwaige Feuchtigkeit zu entfernen, reiben Sie den Akku mit einem sauberen und trockenen Tuch ab, bevor Sie ihn in das Ladegerät einsetzen.
- Das Ladegerät für zwei Akkus ist nicht im Lieferumfang des Standardpakets enthalten.

22.4 Ladegerät für zwei Akkus mit Akku

Abbildung

10602303;a3



HINWEIS

- Um etwaige Feuchtigkeit zu entfernen, reiben Sie den Akku mit einem sauberen und trockenen Tuch ab, bevor Sie ihn in das Ladegerät einsetzen.
- Das Ladegerät für zwei Akkus ist nicht im Lieferumfang des Standardpakets enthalten.

23 Anwendungsbeispiele

23.1 Feuchtigkeit und Wasserschäden

Allgemein

Feuchtigkeit und Wasserschäden in Häusern können häufig mit Hilfe von Infrarotkameras festgestellt werden. Das kommt teils daher, dass der geschädigte Bereich andere Wärmeleiteigenschaften besitzt, und teils daher, dass er über eine vom umgebenden Material abweichende Wärmekapazität zur Wärmespeicherung verfügt.

HINWEIS

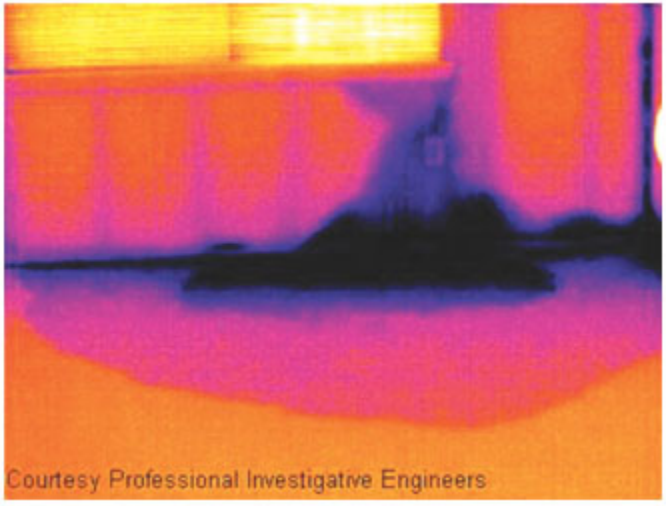
Viele Faktoren haben Einfluss auf die Art und Weise wie Feuchtigkeit und Wasserschäden auf einem Infrarotbild dargestellt werden.

So unterscheidet sich beispielsweise die Geschwindigkeit mit der diese Bauteile sich erhitzen bzw. auskühlen je nach Material und Tageszeit. Es ist daher wichtig, dass auch noch andere auch Methoden zum Nachweis von Feuchtigkeit und Wasserschäden herangezogen werden.

Abbildung

Das Bild unten zeigt einen großflächigen Wasserschaden an einer Außenwand, an der das Wasser die Außenfassade auf Grund eines unsachgemäß eingebauten Fensterrahmens durchdrungen hat.

10739503;a1



23.2 Defekter Steckdosenkontakt

Allgemein

Je nachdem, wie eine Steckdose angeschlossen ist, kann ein unsachgemäß angeschlossenes Kabel zu einem lokal begrenzten Temperaturanstieg führen. Dieser Temperaturanstieg wird durch die verkleinerte Kontaktfläche zwischen dem Anschlusspunkt des eingehenden Kabels und der Steckdose verursacht und kann zu einem Schmorbrand führen.

HINWEIS

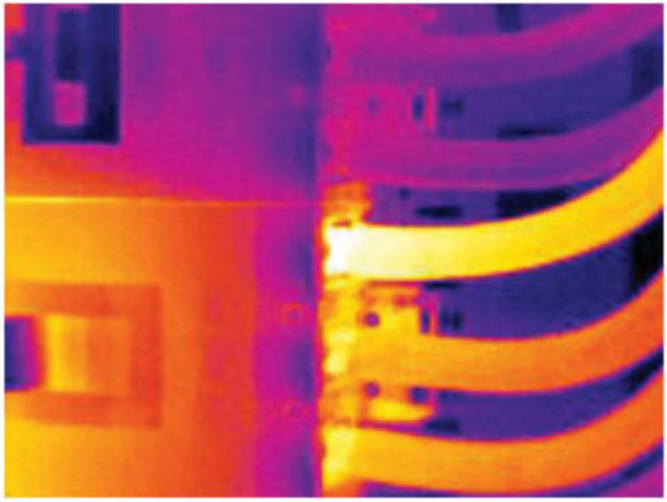
Der Aufbau einer Steckdose kann von Hersteller zu Hersteller stark variieren. Daher können unterschiedliche Defekte in einer Steckdose zum gleichen typischen Erscheinungsbild auf einem Infrarotbild führen.

Ein lokal begrenzter Temperaturanstieg kann auch durch einen fehlerhaften Kontakt zwischen Kabel und Steckdose oder durch Lastunterschiede hervorgerufen werden.

Abbildung

Das folgende Bild zeigt die Verbindung zwischen einem Kabel und einer Steckdose, an der ein fehlerhafter Kontakt zu einem lokal begrenzten Temperaturanstieg geführt hat.

10739603;a1



23.3 Oxidierte Steckdose

Allgemein

Je nach Art der Steckdose und der Umgebung, in der sie installiert ist, können die sich Oxide auf den Steckdosenkontakten ablagern. Die Oxidablagerungen können örtlich zu erhöhtem Widerstand führen, der auf einem Infrarotbild als lokaler Temperaturanstieg dargestellt wird.

HINWEIS

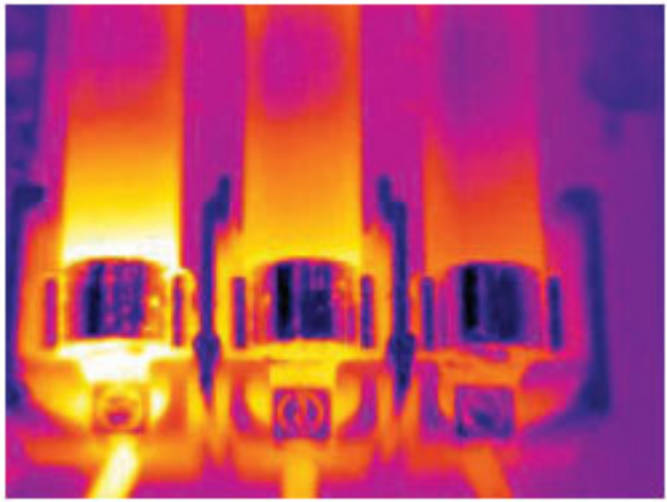
Der Aufbau einer Steckdose kann von Hersteller zu Hersteller stark variieren. Daher können unterschiedliche Defekte in einer Steckdose zum gleichen typischen Erscheinungsbild auf einem Infrarotbild führen.

Ein lokal begrenzter Temperaturanstieg kann auch durch einen fehlerhaften Kontakt zwischen einem Kabel und der Steckdose oder durch Lastunterschiede hervorgerufen werden.

Abbildung

Das Bild unten zeigt eine Reihe von Sicherungen. Eine dieser Sicherungen weist am Kontakt zur Fassung eine erhöhte Temperatur auf. Da die Fassung der Sicherung aus blankem Metall besteht, ist der Temperaturanstieg dort nicht sichtbar, an der Keramiksicherung selbst jedoch schon.

10739703;a1



23.4 Wärmedämmungsmängel

Allgemein

Mängel an der Wärmedämmung können entstehen, wenn sich das Dämmmaterial im Laufe der Zeit zusammenzieht, und dadurch die Hohlräume in den Wänden nicht mehr vollständig ausfüllt.

Mit Hilfe einer Infrarotkamera können Sie diese Mängel in der Wärmedämmung sichtbar machen, denn sie weisen entweder andere Wärmeleiteigenschaften als die Bereiche mit sachgemäß installierter Wärmedämmung auf, und/oder sie können den Bereich sichtbar machen, in dem Luft durch die Außenwände des Gebäudes dringt.

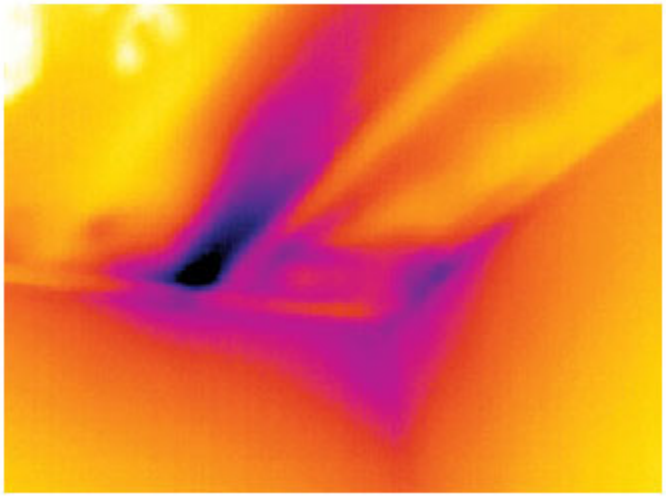
HINWEIS

Wenn Sie ein Gebäude untersuchen, sollte der Temperaturunterschied zwischen innen und außen mindestens 10 °C betragen. Bolzen, Wasserleitungen, Betonpfeiler und ähnliche Komponenten können auf einem Infrarotbild wie Mängel in der Wärmedämmung aussehen. Kleinere Unterschiede können auch durch das Material bedingt sein.

Abbildung

Im Bild unten ist die Wärmedämmung im Dachstuhl mangelhaft. Auf Grund der fehlenden Dämmung konnte Luft in die Dachkonstruktion eindringen. Dies wir dann mit anderen charakteristischen Merkmalen auf dem Infrarotbild dargestellt.

10739803;a1



23.5 Luftzug

Allgemein

Luftzug tritt unter Fußböden, um Tür- und Fensterrahmen herum und oberhalb von Zimmerdecken auf. Diese Art von Luftzug kann mit Hilfe einer Infrarotkamera meist als kühler Luftstrom dargestellt werden, der die umliegenden Oberflächen abkühlt.

HINWEIS

Wenn Sie Luftzugbewegungen in einem Haus untersuchen, sollte im Gebäude Unterdruck herrschen. Schließen Sie alle Türen, Fenster und Lüftungsschächte, und lassen Sie die Abzugshaube in der Küche eine Zeit lang laufen, bevor Sie die Infrarotbilder aufnehmen.

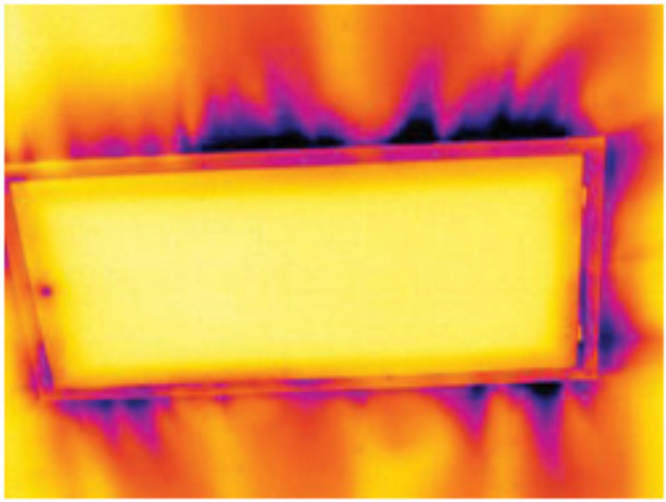
Infrarotbilder von Luftzug weisen häufig ein typisches Strömungsmuster auf. Sie können dieses Strömungsmuster in der Abbildung unten deutlich erkennen.

Bedenken Sie auch, dass Luftzug durch Fußbodenheizungen verschleiert werden kann.

Abbildung

Das Bild unten zeigt eine Dachluke, an der durch unsachgemäßen Einbau ein starker Luftzug entstanden ist.

10739903;a1



24 Einführung in die Gebäudethermografie

24.1 Wichtiger Hinweis

Die Konfiguration Ihrer speziellen Kamera unterstützt möglicherweise nicht alle in diesem Abschnitt beschriebenen Funktionen.

24.2 Typische Einsatzszenarien

24.2.1 Richtlinien

In den folgenden Abschnitten finden Sie eine Reihe allgemeiner Richtlinien, die Benutzer bei der Durchführung von thermografischen Gebäudeuntersuchungen beachten müssen. Hier zunächst alle Richtlinien auf einen Blick.

24.2.1.1 Allgemeine Richtlinien

- Der Emissionsgrad der meisten Baumaterialien liegt zwischen 0,85 und 0,95. Wenn Sie den Wert für den Emissionsgrad in der Kamera also auf 0,90 einstellen, ist dies ein guter Ausgangspunkt.
- Eine Infrarotuntersuchung darf niemals als alleinige Entscheidungsgrundlage für weitere Maßnahmen dienen. Verdachtsmomente und Erkenntnisse müssen immer mit Hilfe anderer Mittel und Methoden, wie Bauzeichnungen, Feuchtemesser, Erfassung von Feuchtigkeits- und Temperaturdaten, Prüfgasuntersuchungen usw. verifiziert werden.
- Nehmen Sie über die Level- und Span-Einstellungen eine Feinabstimmung der Temperaturinformationen des Infrarotbildes vor. Dies verbessert die Detailgenauigkeit des Bildes. Die Abbildung unten zeigt ein nicht abgestimmtes und ein feinabgestimmtes Infrarotbild im direkten Vergleich.

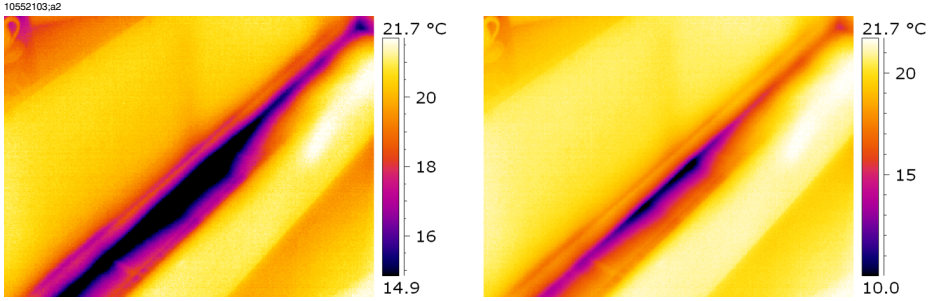


Abbildung 24.1 LINKS: Ein Infrarotbild ohne Feinabstimmung der Temperaturinformationen **RECHTS:** Ein Infrarotbild mit Feinabstimmung der Temperaturinformationen nach Änderung von Level/Span

24.2.1.2 Richtlinien für den Nachweis von Feuchtigkeit, Schimmel und Wasserschäden

- Gebäudeschäden durch Feuchtigkeit und Wasserschäden werden unter Umständen nur durch Wärmeeinwirkung auf die Oberfläche (z. B. durch Sonne) sichtbar.
- Wenn Wasser vorhanden ist, ändern sich die Wärmeleitfähigkeit und die Wärmeträgheit des Baumaterials. Darüber hinaus kann es durch Verdunstungskälte die Oberflächentemperatur des Baumaterials verändern. Unter Wärmeleitfähigkeit versteht man die Fähigkeit eines Materials, Wärme zu leiten, unter Wärmeträgheit die Fähigkeit, Wärme zu speichern.
- Durch eine Infrarotuntersuchung kann Schimmelbefall nicht unmittelbar festgestellt werden; sie kann vielmehr dazu genutzt werden, feuchte Stellen aufzuspüren, an denen es zu Schimmelbildung kommen kann oder bereits gekommen ist. Schimmel kann sich bei Temperaturen zwischen +4 und +38 °C bilden, wenn Feuchtigkeit und die entsprechenden Nährstoffe vorhanden sind. Bei einer Luftfeuchtigkeit von über 50 % ist ausreichend Feuchtigkeit für eine Schimmelbildung vorhanden

10556003;a1

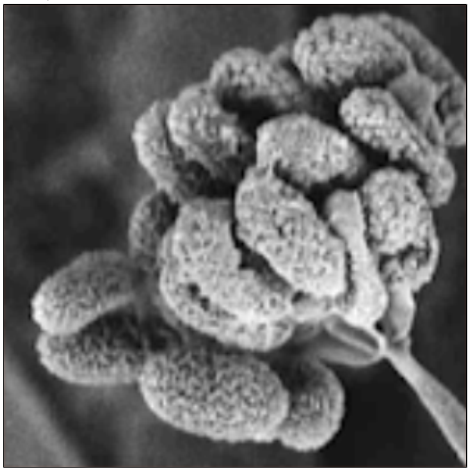


Abbildung 24.2 Schimmelsporen unter dem Mikroskop

24.2.1.3 Richtlinien für den Nachweis von Luftinfiltration und Wärmedämmungsmängeln

- Um sehr genaue Messungen mit der Kamera zu erhalten, nehmen Sie Temperaturmessungen vor und geben den Wert in die Kamera ein.
- Ein Druckunterschied zwischen dem Gebäudeinneren und dem Außenbereich ist empfehlenswert. Dies erleichtert die Analyse der Infrarotbilder und deckt Mängel auf, die sonst nicht erkennbar wären. Idealerweise sollte der Druckunterschied zwischen 10 und 50 Pa liegen, gegebenenfalls ist für eine Untersuchung aber auch

ein geringerer Druckunterschied akzeptabel. Schließen Sie alle Fenster, Türen und Lüftungsschächte und lassen Sie die Abzugshaube in der Küche einige Zeit laufen, um einen Unterdruck von 5 bis 10 Pa im Inneren zu erreichen (nur Wohngebäude).

- Zwischen der Innen- und Außentemperatur sollte ein Unterschied von 10 bis 15 °C herrschen. Untersuchungen können zwar auch durchgeführt werden, wenn der Temperaturunterschied geringer ist, aber die Analyse der Infrarotbilder wird dadurch erschwert.
- Gebäudeteile wie beispielsweise Fassaden, für die eine Innenmessung durchgeführt werden soll, sollten keiner direkten Sonneneinstrahlung ausgesetzt sein. Das Sonnenlicht erwärmt die Fassade, wodurch die Temperaturunterschiede an der Innenseite ausgeglichen und Mängel an der Gebäudestruktur verschleiert werden. Dies gilt insbesondere für das Frühjahr, wenn die Nachttemperaturen niedrig (±0 °C) und die Tagestemperaturen hoch sind (+14 °C).

24.2.2 Informationen zum Feuchtigkeitsnachweis

Feuchtigkeit in einem Gebäude kann u. a. folgende Ursachen haben:

- extern verursachte Nässe, beispielsweise durch Überflutungen, defekte Hydranten usw.
- interne Leckagen, wie defekte Wasserleitungen, Abwasserleitungen usw.
- Kondensation, d. h. der Niederschlag von Luftfeuchtigkeit auf kalten Oberflächen in Form von Wasser
- Feuchtigkeit im Gebäude, d. h. jede vor der Errichtung des Gebäudes in den Baustoffen vorhandene Feuchtigkeit
- Löschwasser

Die Verwendung einer Infrarotkamera als zerstörungsfreie Nachweismethode bietet gegenüber anderen Methoden eine Reihe von Vorteilen, aber auch einige Nachteile:

Vorteil	Nachteil
▪ Die Methode ist schnell. ▪ Die Methode ermöglicht eine zerstörungsfreie Untersuchung. ▪ Die Bewohner müssen während der Untersuchung das Gebäude nicht verlassen. ▪ Die Ergebnisse können sehr anschaulich visuell dargestellt werden. ▪ Schwachstellen und Feuchtigkeitsbewegungen werden aufgezeigt.	▪ Nur Temperaturunterschiede auf der Oberfläche werden erkannt, man kann nicht durch die Wände sehen. ▪ Schäden unter der Oberfläche, wie z. B. Schimmel oder Schäden an der Bausubstanz werden nicht erkannt.

24.2.3 Feuchtigkeitsnachweis (1): Industrieflachdächer

24.2.3.1 Allgemeine Informationen

Industrieflachdächer zählen zu den gängigsten Dachkonstruktionen für gewerblich genutzte Gebäude, wie beispielsweise Lagerhäuser, Industrieanlagen, Produktionshallen usw. Ihr entscheidender Vorteil gegenüber Satteldächern sind die geringeren Material- und Baukosten. Da jedoch auf Grund der Bauweise Schnee und Eis nicht von selbst herunterrutschen, wie es bei den meisten Satteldächern der Fall ist, müssen sie stabil gebaut sein, damit sie zusätzlich zur Dachkonstruktion auch noch das Gewicht von Schnee, Eis und Regen tragen können.

Für die Durchführung von Thermografieuntersuchungen an Industrieflachdächern sind Grundkenntnisse zu deren Bauweise wünschenswert, detailliertes Fachwissen ist jedoch nicht erforderlich. Da es eine Vielzahl verschiedener Bauweisen für Industrieflächdächer gibt (hinsichtlich des Materials und auch der Konstruktion), können Personen, die Infrarotuntersuchungen durchführen, unmöglich alle kennen. Wenn zusätzliche Informationen zu einem bestimmten Dach benötigt werden, können diese in der Regel vom Architekten oder dem Bauunternehmen bereitgestellt werden.

Gängige Ursachen für schadhafte Dächer finden Sie in der Tabelle unten (aus SPIE Thermosense Proceedings Vol. 371 (1982), S. 177).

Ursache	**%**
Mangelhafte Ausführung	47,6
Häufiges Betreten	2,6
Mangelhafte Konstruktion	16,7
Eingeschlossene Feuchtigkeit	7,8
Material	8,0
Alter und Verwitterung	8,4

Folgende Stellen sind anfällig für eindringende Feuchtigkeit:

- Dichtungsbleche
- Abflüsse
- Dachöffnungen (Fenster, Kamine usw.)
- Fugen
- Blasen

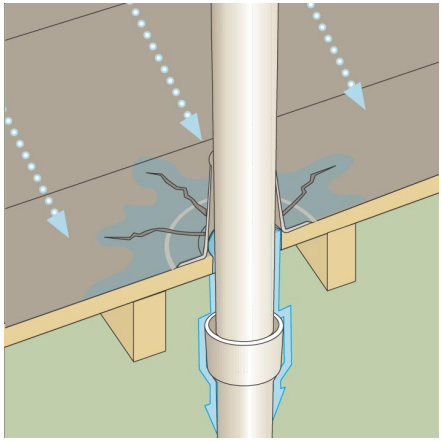
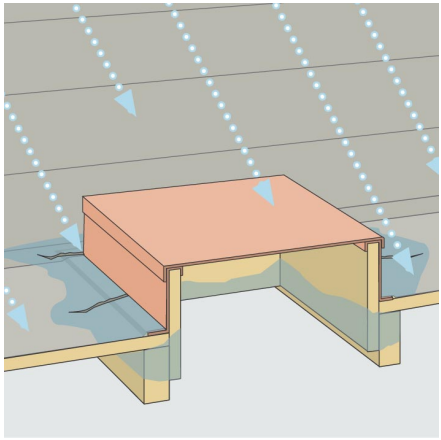
24.2.3.2 Sicherheitsvorkehrungen

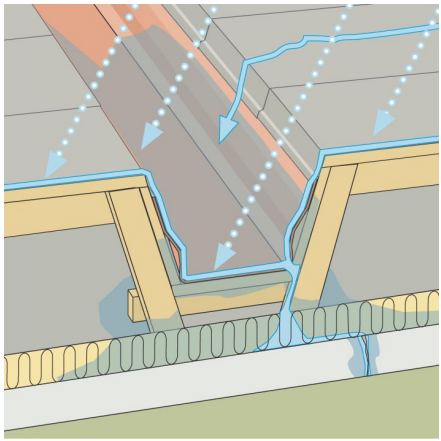
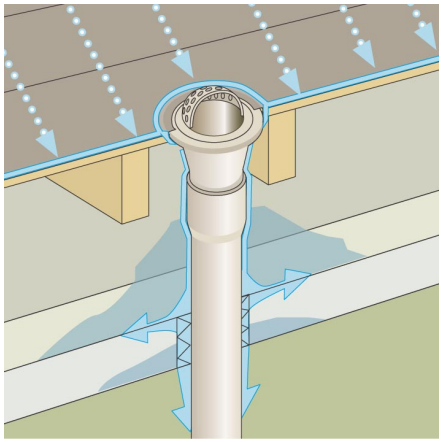
- Es sollten sich mindestens zwei Personen, besser aber drei oder vier auf dem Dach befinden.

- Untersuchen Sie die Unterseite des Daches auf Standfestigkeit, bevor Sie es begehen.
- Treten Sie nicht auf Blasen, die sich auf Bitumen-/Kiesdächern häufig bilden.
- Tragen Sie für den Notfall ein Mobiltelefon oder Funkgerät bei sich.
- Verständigen Sie die örtliche Polizeidienststelle und das Sicherheitspersonal der Anlage, bevor Sie nächtliche Untersuchungen vornehmen.

24.2.3.3 Kommentierte Gebäudestrukturen

In diesem Abschnitt werden einige typische Beispiele für Feuchtigkeitsprobleme bei Industrieflachdächern behandelt.

Konstruktionszeichnung	Kommentar
10553603;a2 	Die unzureichende Abdichtung der Dachbahn um Rohrleitungen und Lüftungsschächte führt zu undichten Stellen um die Rohrleitung bzw. den Schacht herum.
10553703;a2 	Die Dachbahn ist um die Ausstiegsluke herum nicht ordnungsgemäß abgedichtet.

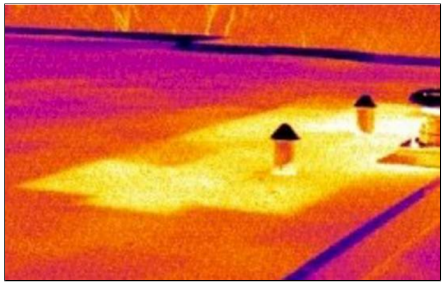
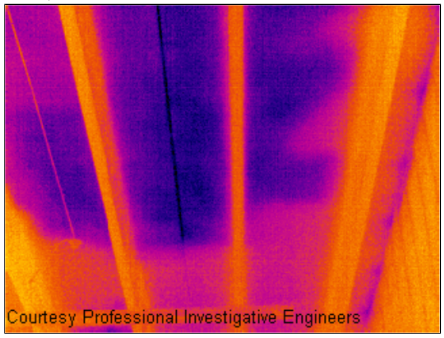
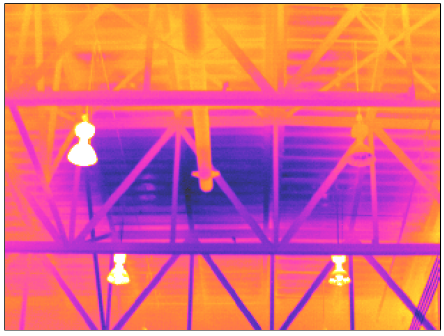
Konstruktionszeichnung	Kommentar
10553803;a2 	Die Abflussrinnen befinden sich zu weit oben und weisen eine zu geringe Neigung auf. Nach Niederschlägen verbleibt noch etwas Regenwasser in der Abflussrinne, was zu undichten Stellen an der Rinne führen kann.
10553903;a2 	Die unzureichende Abdichtung zwischen der Dachbahn und dem Dachabfluss führt zu undichten Stellen um den Dachabfluss herum.

24.2.3.4 Kommentierte Infrarotbilder

Wie kann festgestellt werden, ob das Dämmmaterial unter der Dachoberfläche feucht ist? Wenn die Oberfläche selbst (einschließlich Kies oder Ballastmaterial) trocken ist, wird das gesamte Dach an einem sonnigen Tag aufgeheizt. Bei klarem Himmel beginnt sich das Dach am frühen Abend durch Wärmeabstrahlung abzukühlen. Aufgrund seiner höheren Wärmekapazität bleibt das feuchte Dämmmaterial länger warm als trockene Stellen. Dies ist auf der Infrarotkamera zu sehen (vgl. Fotos unten). Diese Technik eignet sich insbesondere für Dächer mit saugfähigem Dämmmaterial — wie Holz, Glasfasern oder Perlit —, dessen Wärmemuster nahezu perfekt auf Feuchtigkeit abgestimmt ist.

Infrarotuntersuchungen von Dächern, die mit nicht saugfähigem Dämmmaterial ausgestattet sind, was bei vielen einschaligen Aufbauten der Fall ist, sind schwerer zu analysieren, da die Muster hier weniger eindeutig sind.

In diesem Abschnitt werden einige typische Infrarotbilder für Feuchtigkeitsprobleme bei Industrieflachdächern behandelt:

Infrarotbild	Kommentar
10554003;a1 	Feuchtigkeitsnachweis auf einem Dach, abends aufgenommen. Da der von der Feuchtigkeit betroffene Baustoff eine höhere Wärmeträgheit aufweist, nimmt die Temperatur dort langsamer ab als in den umliegenden Bereichen.
10554103;a1 	Dachkomponenten und Dämmmaterialien mit Wasserschaden, ermittelt anhand einer Infrarotuntersuchung von der Unterseite des Daches. Die betroffenen Bereiche sind auf Grund der Auswirkungen der Wärmeleitfähigkeit und/oder der Wärmekapazität kühler als die umliegenden intakten Bereiche.
10554203;a1 	Untersuchung eines Industrieflachdachs (tagsüber) Die betroffenen Bereiche sind auf Grund der Auswirkungen der Wärmeleitfähigkeit und/oder der Wärmekapazität kühler als die umliegenden trockenen Bereiche.

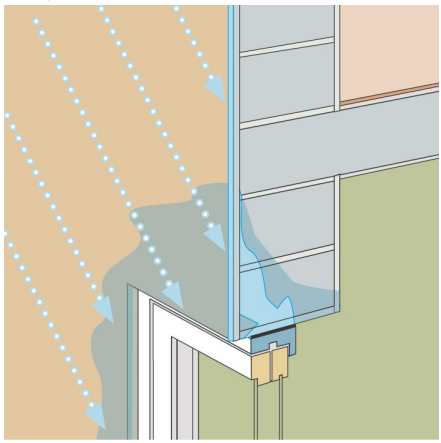
24.2.4 Feuchtigkeitsnachweis (2): Fassaden von Industrie- und Wohngebäuden

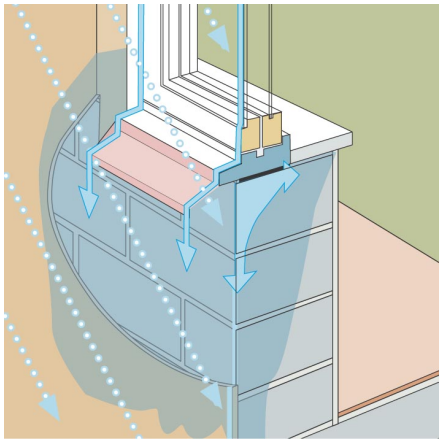
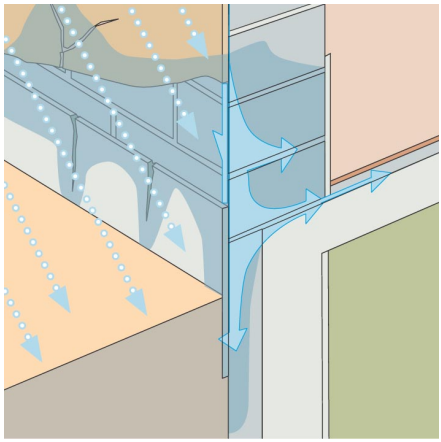
24.2.4.1 Allgemeine Informationen

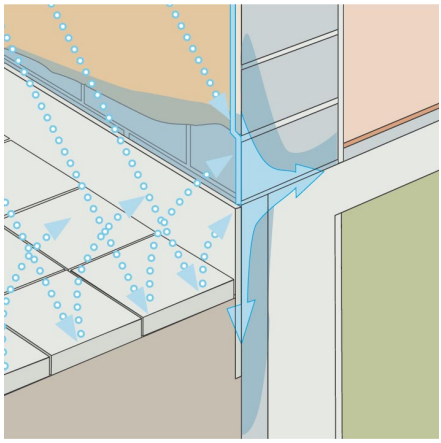
Bei der Bewertung des Eindringens von Flüssigkeit in die Fassaden von Industrie- und Wohngebäuden ist die Thermografie unverzichtbar. Die physische Darstellung von Feuchtigkeitsverteilungen ist schlüssiger als die Extrapolation der Feuchtigkeit, die sich aus Messungen an verschiedenen Standorten ergibt und kostengünstiger als große, nicht zerstörungsfreie Probebohrungen.

24.2.4.2 Kommentierte Gebäudestrukturen

In diesem Abschnitt werden einige typische Beispiele für Feuchtigkeitsprobleme bei Fassaden von Industrie- und Wohngebäuden behandelt.

Konstruktionszeichnung	Kommentar
10554303;a2 	Starker Regen durchdringt die Fassade auf Grund unzulänglich geschlossener Fugen. Im Mauerwerk oberhalb des Fensters sammelt sich Feuchtigkeit an.

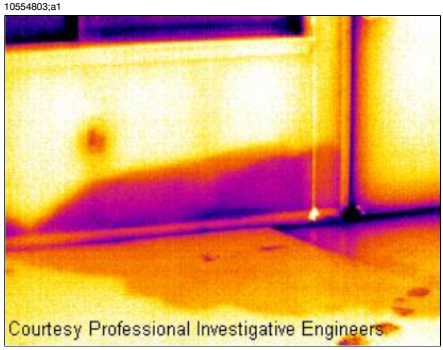
Konstruktionszeichnung	Kommentar
10554403;a2 	Starker Regen fällt in einem bestimmten Winkel auf das Fenster. Der größte Teil des Regens läuft über das Fensterbrett ab, ein Teil gelangt jedoch in das Mauerwerk, wo der Verputz die Unterseite der Sohlbankabdeckung berührt.
10554503;a2 	Regen trifft in einem bestimmten Winkel auf die Fassade und dringt durch Risse in den Verputz ein. Das Wasser läuft auf der Innenseite des Verputzes weiter und führt zu Erosion durch Frost.

Konstruktionszeichnung	Kommentar
10554603;a2 	Regenwasser spritzt auf die Fassade und dringt durch Absorption in den Verputz und das Mauerwerk ein und führt dort später zu Erosion durch Frost.

24.2.4.3 Kommentierte Infrarotbilder

In diesem Abschnitt werden einige typische Infrarotbilder für Feuchtigkeitsprobleme bei Fassaden von Industrie- und Wohngebäuden gezeigt.

Infrarotbild	Kommentar
10554703;a1	Die Steinverkleidung wurde nicht ordnungsgemäß fertig gestellt und am Fensterrahmen nicht ausreichend abgedichtet; außerdem fehlen die Wandanschlüsse. Dies hat dazu geführt, dass Feuchtigkeit in den Wandhohlraum und den Innenwohnraum eingedrungen ist.

Infrarotbild	Kommentar
10554803;a1  	Vordringen von Feuchtigkeit in Wandbereiche durch kapillaren Feuchtetransport auf Grund von unzureichendem Abstand und unzureichender Neigung zur Vinylverkleidung der Fassade einer Apartmentanlage.

24.2.5 Feuchtigkeitsnachweis (3): Gebäudefreiflächen und Balkone

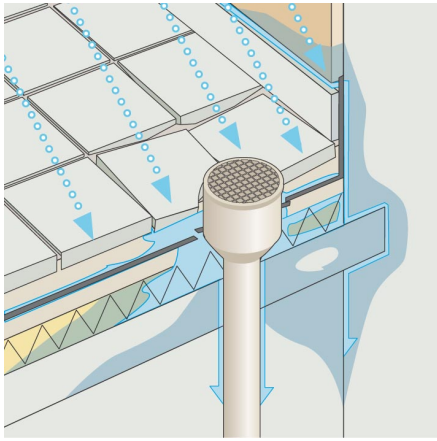
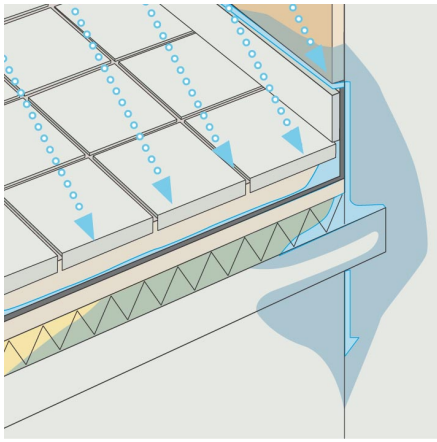
24.2.5.1 Allgemeine Informationen

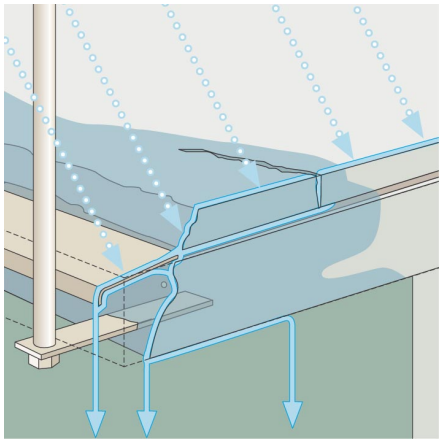
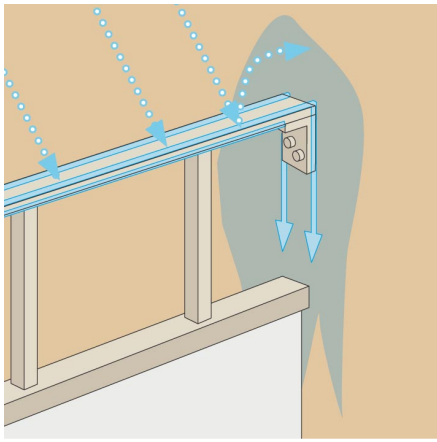
Obwohl sich Bauweise, Materialien und Konstruktion unterscheiden, treten bei Gebäudefreiflächen wie Dachterrassen oder Podesten dieselben Probleme mit Feuchtigkeit und dem Eintreten von Flüssigkeit auf wie bei Industrieflachdächern. Unzureichende Wandanschlüsse, unzulänglich abgedichtete Bahnen und eine ungenügende Entwässerung können bei den nachfolgenden Gebäudestrukturen erhebliche Schäden verursachen.

Balkone sind zwar relativ klein, stellen jedoch dieselben Anforderungen an Bauweise, Materialwahl und handwerkliche Fähigkeiten wie andere Gebäudeteile. Da Balkone normalerweise nur von einer Seite getragen werden, kann Feuchtigkeit bei den Verstrebungen und Betonverstärkungen zu Korrosion führen und somit gefährliche Situationen herbeiführen.

24.2.5.2 Kommentierte Gebäudestrukturen

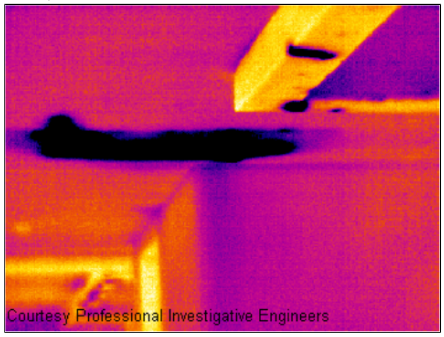
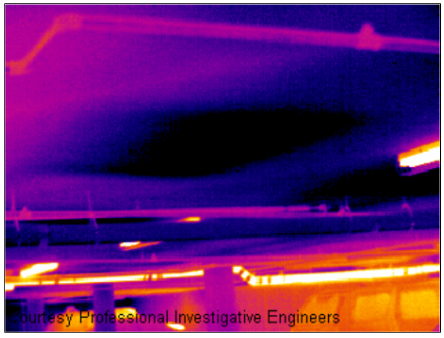
In diesem Abschnitt werden einige typische Beispiele für Feuchtigkeitsprobleme an Gebäudefreiflächen und Balkonen behandelt.

Konstruktionszeichnung	Kommentar
10555203;a2 	Die unzulängliche Abdichtung von Belag und Dachbahn im Bereich des Dachabflusses hat bei Regen den Eintritt von Wasser zur Folge.
10555103;a2 	Ein fehlender Abschluss an der Gebäudefreifläche führt dazu, dass Regen den Beton und die Wärmedämmung durchdringt.

Konstruktionszeichnung	Kommentar
10555003;a2 	Auf Grund der geringen Größe der Schürze ist Wasser in den Beton eingedrungen. Beton und Bewehrung beginnen sich zu zersetzen. SICHERHEITSRISIKO!
10554903;a2 	Wasser ist im Bereich der Geländerbefestigung an der Wand in den Verputz und das Mauerwerk darunter eingedrungen. SICHERHEITSRISIKO!

24.2.5.3 Kommentierte Infrarotbilder

In diesem Abschnitt werden einige typische Infrarotbilder für Feuchtigkeitsprobleme an Gebäudefreiflächen und Balkonen gezeigt.

Infrarotbild	Kommentar
10555303;a1 	Ein fehlerhafter Wandanschluss an der Balkonaufhängung und das Fehlen eines umgebenden Abflusssystems haben dazu geführt, dass Feuchtigkeit in die tragende Holzkonstruktion für einen Außengang eines Obergeschosses eingedrungen ist.
10555403;a1 	Das Fehlen einer Abflussebene oder -schicht hat bei einem unterirdischen Parkdeck dazu geführt, dass sich zwischen der Rohbetondecke und der darüber liegenden Verschleißschicht Wasser ansammelt.

24.2.6 Feuchtigkeitsnachweis (4): Rohrbrüche und Leckagen

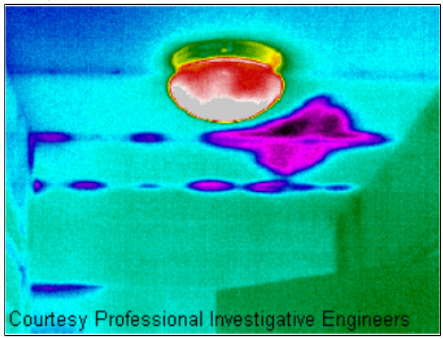
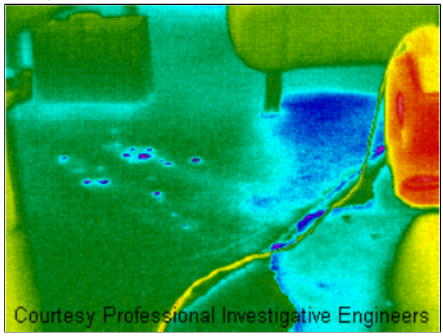
24.2.6.1 Allgemeine Informationen

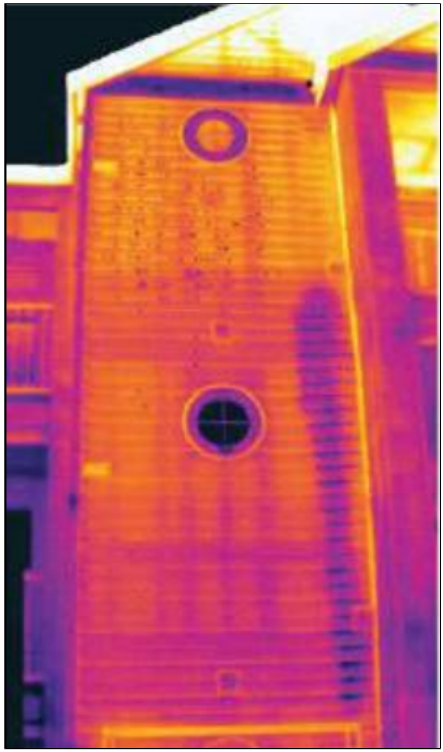
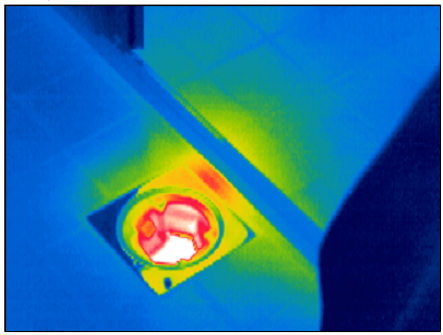
Wasser aus undichten Leitungen führt häufig zu erheblichen Gebäudeschäden. Kleine Leckagen machen sich unter Umständen nur wenig bemerkbar, können jedoch im Laufe der Zeit tragende Wände und Fundamente so schwer schädigen, dass das Gebäude nicht mehr saniert werden kann.

Der rechtzeitige Einsatz der Gebäudethermografietechnik bei Verdacht auf Rohrbrüche bzw. Leckagen kann Material- und Handwerkerkosten erheblich reduzieren.

24.2.6.2 Kommentierte Infrarotbilder

In diesem Abschnitt werden einige typische Infrarotbilder von Rohrbrüchen und Leckagen gezeigt.

Infrarotbild	Kommentar
10555503;a1 	Feuchtigkeitsverteilung entlang der Stahlträgerkanäle in der Decke eines Einfamilienhauses nach dem Bruch einer Rohrleitung.
10555603;a1 	Das Wasser hat sich weiter ausgebreitet als ursprünglich vom Bauunternehmer erwartet, als dieser zu Sanierungszwecken den Teppichboden aufschnitt und Entfeuchter aufstellte.

Infrarotbild	Kommentar
10555703;a1 	Auf dem Infrarotbild dieses 3-stöckigen Wohnhauses ist der Verlauf des aus einer Waschmaschine im 3. Stockwerk ausgeströmten Wassers deutlich zu erkennen. Die Durchfeuchtung erfolgte von innen nach außen.
10555803;a1 	Eindringen von Wasser auf Grund von unzureichender Abdichtung zwischen Fußbodenablauf und Kacheln.

24.2.7 Luftinfiltration

24.2.7.1 Allgemeine Informationen

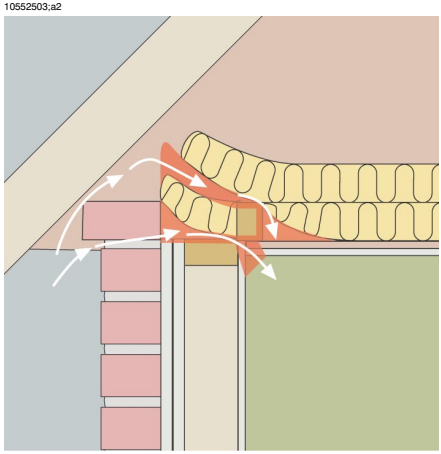
Auf Grund des Winddrucks auf ein Gebäude, der Temperaturunterschiede zwischen dem Gebäudeinneren und -äußeren und der bei den meisten Gebäuden verwendeten Abluftanlagen entsteht normalerweise ein Unterdruck von 2 – 5 Pa. Führt dieser Unterdruck dazu, dass wegen Mängeln an der Wärmedämmung und/oder der Abdichtung des Gebäudes kalte Luft eindringt, handelt es sich hierbei um die so genannte *Luftinfiltration*. Die Luftinfiltration ist vor allem an Fugen und Nähten in Gebäudestrukturen zu erwarten.

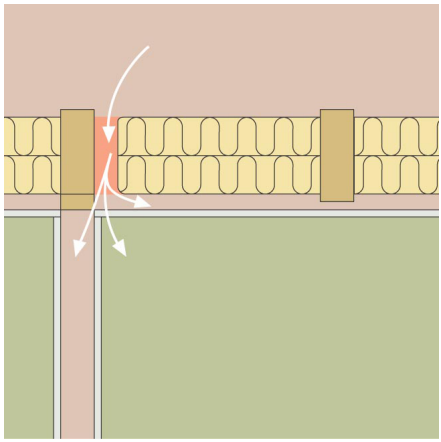
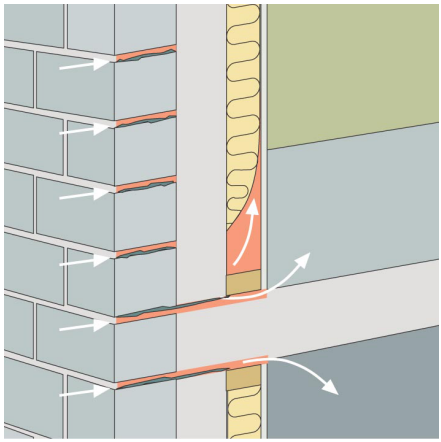
Da durch Luftinfiltration in einen Raum kalte Zugluft entsteht, kann das Raumklima erheblich beeinträchtigt werden. Die Bewohner des Raums bemerken normalerweise bereits einen Luftstrom von nur 0,15 m/s, auch wenn ein solcher Luftstrom mit herkömmlichen Messgeräten kaum nachweisbar ist.

Auf einem Infrarotbild kann eine Luftinfiltration anhand ihres typischen Strahlungsmusters identifiziert werden, das von der entsprechenden undichten Stelle im Gebäude ausgeht, wie beispielsweise einer Sockelleiste. In Bereichen mit Luftinfiltration wird normalerweise auch eine niedrigere Temperatur gemessen als in Bereichen, bei denen lediglich die Wärmedämmung mangelhaft ist. Dies liegt am Auskühlungsfaktor des Luftstroms.

24.2.7.2 Kommentierte Gebäudestrukturen

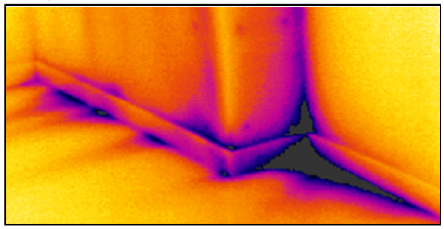
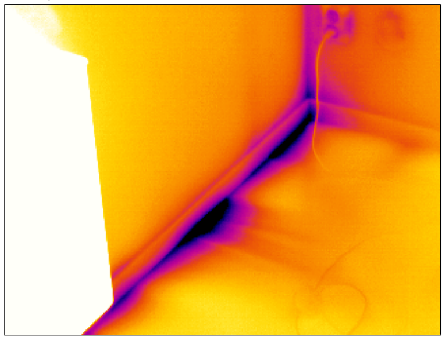
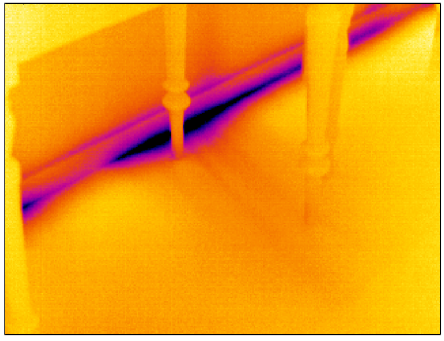
In diesem Abschnitt werden einige typische Beispiele für Gebäudeteile mit möglicher Luftinfiltration behandelt.

Konstruktionszeichnung	Kommentar
10552503;a2 	Wärmedämmungsmängel an der Dachtraufe eines Backsteingebäudes, die auf eine unsachgemäß ausgeführte Glasfaserdämmung zurückzuführen sind. Die Luftinfiltration in den Raum erfolgt über die Deckenleiste.

Konstruktionszeichnung	Kommentar
10552303;a2 	Wärmedämmungsmängel an der Zwischendecke eines Backsteingebäudes, die auf eine unsachgemäß ausgeführte Glasfaserdämmung zurückzuführen sind. Die Luftinfiltration in den Raum erfolgt über die Deckenleiste.
10552603;a2 	Luftinfiltration in einer Rohbetondecke auf Grund von Rissen in der Backsteinfassade. Die Luftinfiltration in den Raum erfolgt unter der Sockelleiste hindurch.

24.2.7.3 Kommentierte Infrarotbilder

In diesem Abschnitt werden einige typische Infrarotbilder von Gebäudeteilen gezeigt, in denen eine Luftinfiltration aufgetreten ist.

Infrarotbild	Kommentar
10552703;a1 	Luftinfiltration über eine Sockelleiste. Beachten Sie das typische Strahlungsmuster.
10552803;a1 	Luftinfiltration über eine Sockelleiste. Beachten Sie das typische Strahlungsmuster. Bei dem weißen Bereich links handelt es sich um einen Heizkörper.
10552903;a1 	Luftinfiltration über eine Sockelleiste. Beachten Sie das typische Strahlungsmuster.

24.2.8 Wärmedämmungsmängel

24.2.8.1 Allgemeine Informationen

Wärmedämmungsmängel führen nicht unbedingt zu einer Luftinfiltration. Bei einer unsachgemäß angebrachten Glasfaserdämmung bilden sich in der Gebäudestruktur Luftblasen. Da diese Luftblasen eine andere Wärmeleitfähigkeit aufweisen als Bereiche mit einer sachgemäß angebrachten Dämmung können sie durch eine Thermografieuntersuchung an Gebäuden nachgewiesen werden.

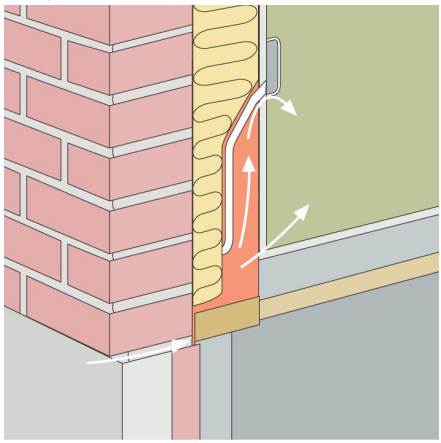
Als Faustregel gilt, dass in Bereichen mit Wärmedämmungsmängeln höhere Temperaturen gemessen werden als an Stellen, an denen lediglich eine Luftinfiltration besteht.

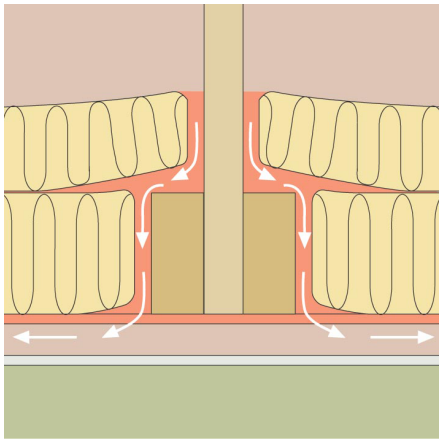
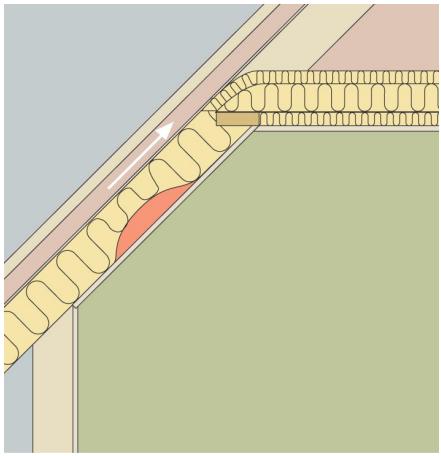
Wenn mit Hilfe einer Thermografieuntersuchung Wärmedämmungsmängel an einem Gebäude nachgewiesen werden sollen, beachten Sie, dass folgende Elemente auf einem Infrarotbild wie Wärmedämmungsmängel aussehen können:

- Holzträger, Bolzen, Sparren, Balken
- Stahlträger und -balken
- Wasserrohrleitungen in Wänden, Decken und Fußböden
- Elektrische Installationen in Wänden, Decken und Fußböden (beispielsweise Leitungen, Kabelkanäle usw.)
- Betonpfeiler unter Holzverkleidungen
- Lüftungsschächte und -kanäle

24.2.8.2 Kommentierte Gebäudestrukturen

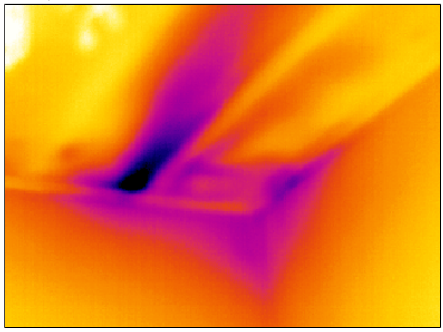
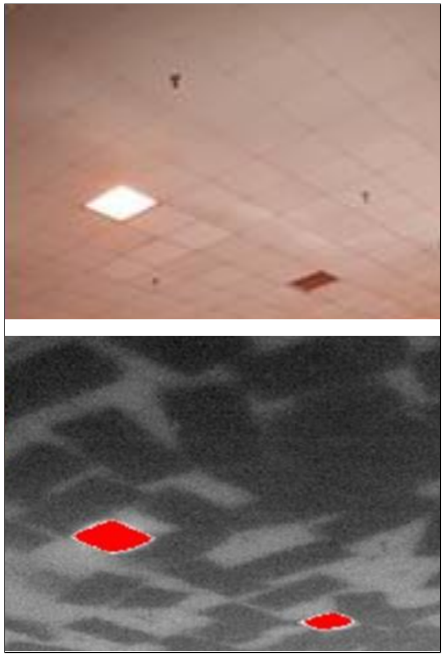
In diesem Abschnitt werden einige typische Beispiele für Gebäudeteile mit Wärmedämmungsmängeln behandelt:

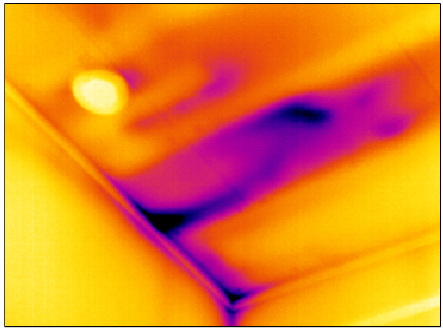
Konstruktionszeichnung	Kommentar
10553203;a2 	Wärmedämmungsmängel (und Luftinfiltration), verursacht durch unsachgemäße Ausführung der Dämmung im Bereich einer Stromversorgungsleitung. Solch ein Wärmedämmungsmangel wird auf einem Infrarotbild als dunkler Bereich dargestellt.

Konstruktionszeichnung	Kommentar
10553103;a2 	Wärmedämmungsmängel verursacht durch unsachgemäße Ausführung der Dämmung im Bereich eines Dachstuhlbalkens. Kaltluft dringt ein und senkt die Temperatur auf der Deckeninnenseite. Solch ein Wärmedämmungsmangel wird auf einem Infrarotbild als dunkler Bereich dargestellt.
10553003;a2 	Wärmedämmungsmängel durch unsachgemäße Ausführung der Dämmung, wodurch sich an der Außenseite einer Schrägdecke eine Luftblase gebildet hat. Solch ein Wärmedämmungsmangel wird auf einem Infrarotbild als dunkler Bereich dargestellt.

24.2.8.3 Kommentierte Infrarotbilder

In diesem Abschnitt werden einige typische Infrarotbilder von Wärmedämmungsmängeln gezeigt.

Infrarotbild	Kommentar
10553303;a1 	Wärmedämmungsmängel an einer Zwischendecke. Dieser Mangel ist entweder auf eine fehlende Dämmung oder eine unsachgemäße Ausführung der Dämmung zurückzuführen (Luftblasen).
10553403;a1 	Unsachgemäß ausgeführte Glasfaserdämmung in einer abgehängten Decke.

Infrarotbild	Kommentar
10553503;a1 	Wärmedämmungsmängel an einer Zwischendecke. Dieser Mangel ist entweder auf eine fehlende Dämmung oder eine unsachgemäße Ausführung der Dämmung zurückzuführen (Luftblasen).

24.3 Theorie des Bauingenieurwesens

24.3.1 Allgemeine Informationen

Die Nachfrage nach energiesparender Bauweise ist in der letzten Zeit deutlich gestiegen. Die Entwicklungen im Energiebereich haben zusammen mit den erhöhten Anforderungen an ein angenehmes Raumklima dazu geführt, dass sowohl der Wärmedämmung und der Luftdichtigkeit eines Gebäudes als auch der Effizienz seiner Heizungs- und Lüftungssysteme immer mehr Bedeutung beigemessen wird.

Mangelhafte Wärmedämmung und Dichtigkeit bei stark gedämmten und luftdichten Strukturen können erhebliche Energieverluste verursachen. Mängel an der Wärmedämmung eines Gebäudes und eine unzureichende Luftdichtigkeit bergen nicht nur das Risiko hoher Heiz- und Wartungskosten, sondern verschlechtern auch das Raumklima.

Der Grad der Wärmedämmung eines Gebäudes wird häufig als Wärmedurchgang oder als Wärmedurchgangskoeffizient (Wert U) für die verschiedenen Gebäudeteile angegeben. Die angegebenen Werte für den Wärmedurchgang sind jedoch selten ein Maßstab für die tatsächlichen Energieverluste eines Gebäudes. Luft, die über nicht luftdichte oder unzureichend gedämmte Fugen und Anschlüsse eindringt, führt häufig zu beträchtlichen Abweichungen von den errechneten und prognostizierten Werten.

Anhand von Labortests wird überprüft, ob Materialien und Bauelemente die zugesagten Eigenschaften aufweisen. Fertig gestellte Gebäude müssen überprüft werden, um sicherzustellen, dass die Wärmedämmungs- und Dichtungselemente die Vorgaben erfüllen.

Im Rahmen des ingenieurwissenschaftlichen Einsatzes wird die Thermografie zur Untersuchung von Temperaturunterschieden auf Gebäudeoberflächen herangezogen. Abweichungen beim Wärmedurchgang einer Gebäudestruktur können unter bestimmten Bedingungen zu Temperaturunterschieden auf den Gebäudeoberflächen führen. Das Eindringen von Kaltluft (oder Warmluft) in das Gebäude wirkt sich auch auf die Oberflächentemperatur aus. Daher können Mängel an der Wärmedämmung, Wärmebrücken und Lufteinbrüche in den äußeren Bauelementen des Gebäudes ermittelt und bewertet werden.

Mit der Thermografie können der Wärmedurchgang und die Luftdichtigkeit eines Gebäudes nicht unmittelbar festgestellt werden. Wenn der Wärmedurchgang oder die Luftdichtigkeit bestimmt werden soll, müssen zusätzliche Maßnahmen ergriffen werden. Für eine thermografische Analyse von Gebäuden müssen bestimmte Voraussetzungen hinsichtlich der Temperatur- und Druckbedingungen in der gesamten Gebäudestruktur erfüllt sein.

Details, Umrisse und Kontraste auf dem Wärmebild können bei einer Änderung eines dieser Parameter erheblich abweichen. Für eine ausführliche Analyse und Auswertung von Wärmebildern sind daher fundierte Kenntnisse bezüglich der Eigenschaften von Materialien und Strukturen, der Auswirkungen des Klimas und der modernsten Messtechniken erforderlich. Für die Auswertung der Messergebnisse gelten bestimmte Voraussetzungen hinsichtlich des Fachwissens und der Erfahrung der Personen, die die Messungen durchführen; d. h. diese sollten von einer nationalen oder regionalen Regulierungsbehörde zugelassen sein.

24.3.2 Vorteile von Untersuchungen und Prüfungen

Eine Vorhersage bezüglich der Effizienz der Wärmedämmung und Luftdichtigkeit eines fertig gestellten Gebäudes kann unter Umständen schwierig sein. Bei der Montage der verschiedenen Komponenten und Bauelemente sind bestimmte Faktoren beteiligt, die sich erheblich auf das Endergebnis auswirken können. Die Auswirkungen von Transport, Bearbeitung und Lagerung vor Ort und der Arbeitsablauf können nicht vorab kalkuliert werden. Um die Einhaltung der Vorgaben zu gewährleisten, muss das fertig gestellte Gebäude untersucht und geprüft werden.

Durch moderne Wärmedämmungstechniken hat sich der theoretische Heizbedarf verringert. Dies bedeutet jedoch auch, dass durch Mängel, die vergleichsweise geringfügig sind, jedoch an wichtigen Stellen auftreten, wie beispielsweise undichte Fugen oder unsachgemäß ausgeführte Dämmungen, Wärme und Komfort erheblich beeinträchtigt werden können. Überprüfungen mit Hilfe der Thermografie haben sich sowohl für Bauingenieure als auch für Bauunternehmer, Bauträger, Verwalter und Nutzer als wertvoll erwiesen.

- Für den Bauingenieur ist es am wichtigsten, die Funktionsweise verschiedener Typen von Gebäudestrukturen zu kennen, damit bei der Planung sowohl Arbeitsmethoden als auch funktionelle Anforderungen berücksichtigt werden können. Der Bauingenieur muss außerdem wissen, welches Ergebnis durch verschiedene Materialien und Kombinationen von Materialien in der Praxis erzielt wird. Um den diesbezüglichen Anforderungen gerecht zu werden, ist es sinnvoll, effektive Untersuchungen und Prüfungen durchzuführen und Erfahrungswerte zu sammeln.
- Der Bauunternehmer hat ein Interesse an umfangreicheren Untersuchungen, um sicherzustellen, dass die Gebäude die geplante Funktion erfüllen und somit den behördlichen Bestimmungen und in Verträgen festgehaltenen Anforderungen genügen. Der Bauunternehmer muss so früh wie möglich wissen, ob Änderungen vonnöten sind, um systematische Mängel vermeiden zu können Während der Bauarbeiten an einem Großbauprojekt sollte außerdem eine Prüfung der ersten fertig gestellten Wohnungen durchgeführt werden. Weitere Prüfungen erfolgen im Verlauf der Bauarbeiten. Auf diese Weise können systematische Mängel verhindert sowie überflüssige Kosten und zukünftige Probleme vermieden werden. Diese Prüfungen sind sowohl für den Bauunternehmer als auch für die Nutzer von Vorteil.

- Für Bauträger und Verwalter ist von entscheidender Bedeutung, dass Gebäude hinsichtlich der Wärmewirtschaft, des Wartungsaufwands (Schäden durch Nässe oder Eindringen von Feuchtigkeit) und hinsichtlich des Komforts für die Bewohner (z. B. in Bezug auf kalte Oberflächen und Luftströmungen in Wohnräumen) geprüft werden.
- Für den Nutzer ist am wichtigsten, dass das Endprodukt die zugesicherten Anforderungen an die Wärmedämmung und Luftdichtigkeit von Gebäuden erfüllt. Für eine Einzelperson stellt ein Hauskauf eine erhebliche finanzielle Belastung dar. Daher möchte der Käufer sicher sein, dass mögliche Mängel am Bau keine größeren finanziellen oder gesundheitlichen Folgen haben.

Die Vorteile der Untersuchung und Prüfung der Wärmedämmung und Luftdichtigkeit von Gebäuden sind sowohl physiologischer als auch finanzieller Natur.

Die Wahrnehmung des Raumklimas ist in physiologischer Hinsicht sehr subjektiv; sie ist abhängig von der individuellen Wärmebilanz des menschlichen Körpers und von der individuellen Temperaturwahrnehmung. Wie das Raumklima empfunden wird, hängt von der Lufttemperatur im Rauminneren und der Temperatur der umliegenden Oberflächen ab. Die Geschwindigkeit, mit der die Luft in den Innenräumen zirkuliert, und deren Feuchtigkeitsgehalt spielen ebenfalls eine Rolle. In physiologischer Hinsicht bewirkt ein Luftzug das Empfinden einer lokalen Abkühlung der Körperoberfläche durch:

- übermäßige Luftströmungen im Wohnraum bei normaler Lufttemperatur
- normale Luftströmungen im Wohnraum bei zu geringer Lufttemperatur
- erheblichen Wärmestrahlungsaustausch mit einer kalten Oberfläche

Es ist schwierig zu beurteilen, in welchem Maße sich Untersuchungen und Prüfungen an einem Gebäude auf dessen Wärmedämmung auswirken.

Untersuchungen haben gezeigt, dass die erwarteten Wärmeverluste durch Mängel an der Wärmedämmung und der Luftdichtigkeit von Gebäuden um 20 – 30 % steigen. Dies wurde durch Kontrollen des Energieverbrauchs vergleichsweise großer Wohnanlagen mit kleinen Gebäuden und großer Mehrfamilienhäuser vor und nach Reparaturarbeiten bestätigt. Die angeführten Zahlen sind wahrscheinlich nicht repräsentativ für Gebäude im Allgemeinen, da die Untersuchungsergebnisse nicht für die gesamte Gebäudesubstanz relevant sein können. Auch bei einer vorsichtigen Einschätzung käme man jedoch zu dem Ergebnis, dass wirksame Untersuchungen und Prüfungen der Wärmedämmung und der Luftdichtigkeit eines Gebäudes eine Senkung des Energieverbrauchs um etwa 10 % bewirken können.

Die Forschungsergebnisse zeigen außerdem, dass ein mit Mängeln zusammenhängender erhöhter Energieverbrauch häufig von Bewohnern verursacht wird, die die Innentemperatur um ein oder mehrere Grad gegenüber der normalen Raumtemperatur erhöhen, um den störenden Effekt der Wärmeabstrahlung an kalte Oberflächen oder störende Luftströmungen im Raum auszugleichen.

24.3.3 Ursachen für Störungen bei der Thermografie

Das Risiko, durch Mängel in der Wärmedämmung verursachte Temperaturabweichungen bei Thermografieuntersuchungen mit der natürlichen Abweichung der U-Werte an warmen Oberflächen eines Gebäudes zu verwechseln, wird unter normalen Bedingungen als geringfügig eingestuft.

Die mit Abweichungen des U-Wertes verbundenen Temperaturänderungen verlaufen im Allgemeinen graduell und sind symmetrisch über die Oberfläche verteilt. Abweichungen dieser Art treten bekanntermaßen an den Übergängen zwischen Wänden und Dächern und Fußböden sowie in Ecken auf.

Mit Lufteinbrüchen oder Mängeln an der Wärmedämmung verbundene Temperaturänderungen sind meistens auffälliger und weisen charakteristische, scharfe Konturen auf. Das Temperaturmuster ist normalerweise asymmetrisch.

Während der Thermografieuntersuchung und beim Auswerten eines Infrarotbildes können Vergleichsbilder sehr hilfreich sein.

In der Thermografie-Praxis treten folgende Störungsquellen am häufigsten auf:

- Sonneneinstrahlung auf die untersuchte Oberfläche (Sonne, die durch ein Fenster scheint)
- Warme Heizkörper und Heizungsrohre
- Auf die untersuchte Oberfläche gerichtete oder in ihrer Nähe aufgestellte Lichtquellen
- Auf die Oberfläche gerichtete Luftströmungen (z. B. aus Lufteinlässen)
- Feuchtigkeitsansammlungen auf der Oberfläche

Oberflächen, die der Sonneneinstrahlung ausgesetzt sind, sollten keiner Thermografieuntersuchung unterzogen werden. Besteht das Risiko, dass sich die Sonneneinstrahlung auf das Ergebnis auswirkt, muss ein Sonnenschutz eingesetzt werden (z. B. Jalousien). Beachten Sie jedoch, dass bestimmte Gebäudemängel oder Probleme (besonders Probleme durch Feuchtigkeit) unter Umständen erst zu erkennen sind, wenn die Oberfläche erwärmt wurde, beispielsweise durch Sonneneinstrahlung.

Weitere Informationen zum Nachweis von Feuchtigkeit finden Sie in Abschnitt 24.2.2 – Informationen zum Feuchtigkeitsnachweis auf Seite 84.

Ein warmer Heizkörper wird auf einem Infrarotbild als helle Fläche dargestellt. Die Oberflächentemperatur von Wänden erhöht sich in der Nähe von Heizkörpern, wodurch eventuell vorhandene Mängel überdeckt werden können.

Um störende Auswirkungen durch warme Heizköper so weit wie möglich zu verhindern, sollten diese einige Zeit vor der Durchführung der Messung ausgeschaltet werden. Je nach Bauweise des Gebäudes (geringe oder große Masse) müssen die Heizkörper möglicherweise mehrere Stunden vor einer Thermografieuntersuchung ausgeschaltet werden. Die Raumtemperatur darf jedoch nicht so stark abfallen, dass die Verteilung der Oberflächentemperatur auf den Oberflächen des Gebäudes beeinflusst wird. Bei elektrischen Heizkörpern ist die Zeitverzögerung nur gering, d. h. sie kühlen nach dem Abschalten relativ schnell ab (20 – 30 Minuten).

An Wänden montierte Lampen müssen ausgeschaltet werden, bevor das Infrarotbild aufgenommen wird.

Während der Thermografieuntersuchung dürfen keine störenden Luftströmungen vorhanden sein (z. B. durch offene Fenster, geöffnete Ventile oder Ventilatoren, die auf die zu untersuchende Fläche gerichtet sind), die die zu untersuchenden Flächen beeinflussen könnten.

Feuchte Oberflächen, beispielsweise durch Oberflächenkondensation, beeinflussen in jedem Fall den Wärmetransport auf der Oberfläche und die Oberflächentemperatur. Ist eine Oberfläche feucht, wird normalerweise durch Verdunstung Wärme abgegeben und somit die Oberflächentemperatur um einige Grad reduziert. Bei größeren Wärmebrücken und Wärmedämmungsmängeln besteht das Risiko einer Oberflächenkondensation.

Die hier beschriebenen Störungsquellen können normalerweise vor der Messung ermittelt und beseitigt werden.

Ist es nicht möglich, Störfaktoren für die zu untersuchenden Oberflächen während der Thermografie zu beseitigen, muss dies bei der Auswertung der Ergebnisse berücksichtigt werden. Bei der Messung müssen die Bedingungen, unter denen die Thermografie durchgeführt wird, genau dokumentiert werden.

24.3.4 Oberflächentemperatur und Lufteinbrüche

Mängel bei der Luftdichtigkeit eines Gebäudes auf Grund kleiner Risse in der Struktur können durch Messen der Oberflächentemperatur ermittelt werden. Herrscht in dem zu untersuchenden Gebäude ein Unterdruck, strömt durch undichte Stellen im Gebäude Luft ein. Kaltluft, die durch kleine Risse in einer Wand einströmt, führt für gewöhnlich zu einem Absinken der Temperatur angrenzender Wandflächen. Auf der Oberfläche der Wandinnenseite entsteht dadurch ein kalter Bereich mit einer charakteristischen Form. Mit Hilfe der Thermografie können solche kalten Oberflächenbereiche nachgewiesen werden. Luftströmungen an der Wandoberfläche können mit Hilfe

einer Luftgeschwindigkeitsanzeige gemessen werden. Herrscht in dem zu untersuchenden Gebäude ein Überdruck, strömt warme Raumluft durch Risse in der Wand aus. Auf diese Weise werden die Oberflächen im Bereich der Risse erwärmt.

Die Stärke des austretenden Luftstroms hängt einerseits von den Rissen und andererseits vom Druckgefälle innerhalb des Gebäudes ab.

24.3.4.1 Druckverhältnisse in Gebäuden

Die folgenden Faktoren stellen die wichtigsten Ursachen für ein Druckgefälle in einem Strukturelement eines Gebäudes dar:

- Windverhältnisse in der Umgebung des Gebäudes
- Lüftungssysteme
- Temperaturunterschiede zwischen der Außenumgebung und dem Gebäudeinneren (wärmebedingtes Druckgefälle)

Die tatsächlichen Druckverhältnisse im Inneren eines Gebäudes ergeben sich in der Regel aus dem Zusammenspiel dieser drei Faktoren.

Das entstehende Druckgefälle zwischen den verschiedenen Strukturelementen wird in der Abbildung auf Seite 111 veranschaulicht. Da die Auswirkungen des Windes auf ein Gebäude nicht gleichmäßig sind, sind die Druckverhältnisse in der Praxis relativ variabel und kompliziert.

Bei gleichmäßigen Windverhältnissen gilt das Gesetz von Bernoulli:

$$\frac{\rho v^2}{2} + p = \text{constant}$$

Es gilt:

ρ	Luftdichte in kg/m^3
v	Windgeschwindigkeit in m/s
p	Statischer Druck in Pa

Weiterhin gilt:

$$\frac{\rho v^2}{2}$$

steht für den dynamischen Druck und p für den statischen Druck. Die Summe dieser Druckwerte ergibt den Gesamtdruck.

Auf Grund der Windlast an einer Oberfläche wandelt sich der dynamische Druck in einen statischen Druck gegen die Oberfläche. Die Stärke dieses dynamischen Drucks wird unter anderem anhand der Form der Oberfläche und ihres Winkels zur Windrichtung bestimmt.

Der Anteil des dynamischen Drucks, der sich in einen statischen Druck auf die Oberfläche umwandelt (p_{stat}), wird vom so genannten Spannungskonzentrationsfaktor bestimmt:

$$C = \frac{p_{stat}}{\frac{\rho v^2}{2}}$$

Wenn ρ = 1,23 kg/m³ (Luftdichte bei einer Temperatur von +15 °C) ergibt sich für den lokalen Druck in der Windströmung Folgendes:

$$p_{stat} = C \times \frac{\rho v^2}{2} = C \times \frac{v^2}{1.63} \text{ Pa}$$

10551803;a1

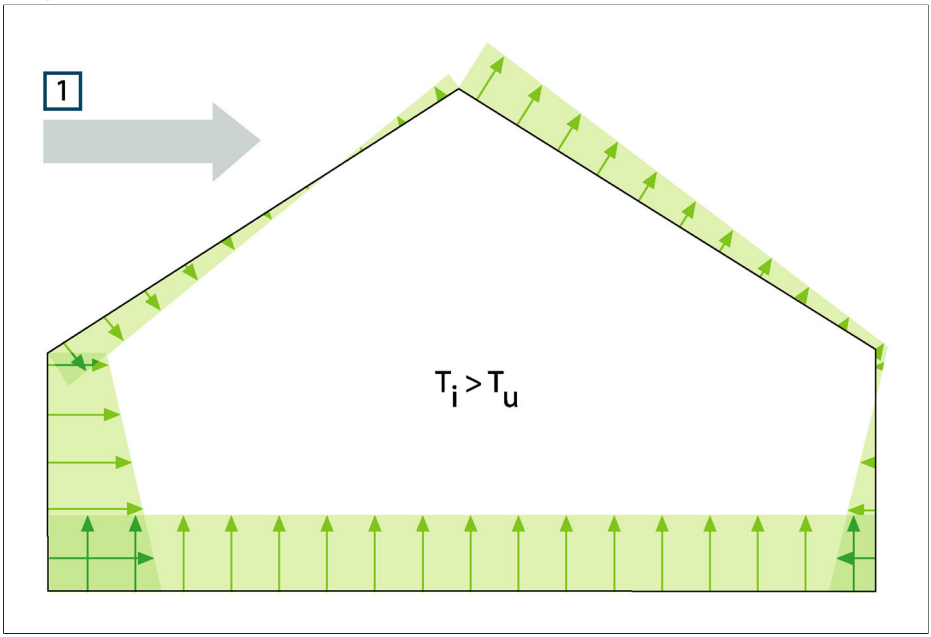


Abbildung 24.3 Verteilung der resultierenden Drücke auf die Außenflächen eines Gebäudes in Abhängigkeit von den Auswirkungen des Windes, der Durchlüftung und der Differenz zwischen Innen- und Außentemperatur. **1**: Windrichtung; T_u: Thermodynamische Außenlufttemperatur in K T_i: Thermodynamische Innenlufttemperatur in K.

Wenn sich der gesamte dynamische Druck in statischen Druck umwandelt, ist C = 1. Beispiele für die Verteilung des Spannungskonzentrationsfaktors für ein Gebäude bei verschiedenen Windrichtungen finden Sie in der Abbildung auf Seite 112.

Durch den Wind entsteht also im Inneren auf der dem Wind zugewandten Seite ein Unterdruck und auf der dem Wind abgewandten Seite ein Überdruck. Der Luftdruck im Inneren hängt von den Windverhältnissen, Lufteinbrüchen im Gebäude und von deren Verteilung im Verhältnis zur Windrichtung ab. Sind die Lufteinbrüche gleichmäßig über das Gebäude verteilt, kann der Druck im Inneren um ±0.2 p_{stat} variieren. Befinden sich die meisten Lufteinbrüche auf der windzugewandten Seite, erhöht sich der Druck im Inneren leicht. Befinden sich dagegen die meisten Lufteinbrüche auf der windabgewandten Seite, sinkt der Druck im Inneren.

10551903;a1

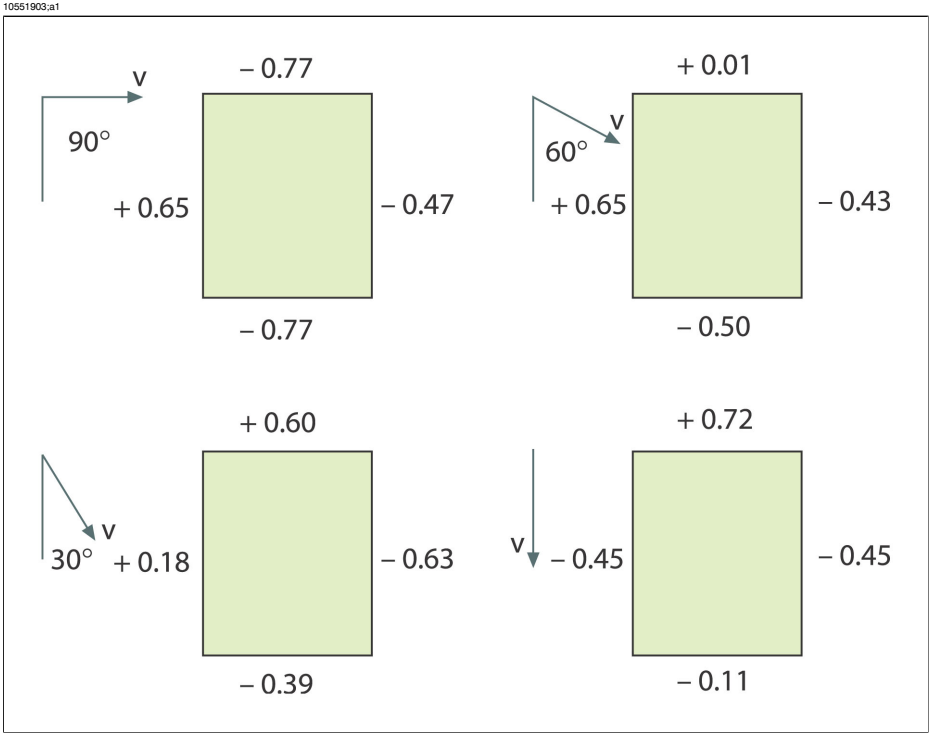


Abbildung 24.4 Verteilung des Spannungskonzentrationsfaktors (C) für verschiedene Windrichtungen und -geschwindigkeiten (v) im Verhältnis zum Gebäude.

Die Windverhältnisse können im zeitlichen Verlauf und zwischen nah beieinander liegenden Standorten erheblich variieren. Bei der Thermografie wirken sich solche Abweichungen eindeutig auf die Messergebnisse aus.

In Experimenten wurde gezeigt, dass der Differenzdruck an einer Fassade, die einer durchschnittlichen Windstärke von ca. 5 m/s (16,3 ft/s) ausgesetzt wird, etwa 10 Pa beträgt.

Bei einer mechanischen Lüftung entsteht im Inneren ein konstanter Unter- oder Überdruck (je nach Lüftungsrichtung). Forschungsergebnisse haben gezeigt, dass der durch eine mechanische Entlüftung (Küchenabzugshaube) in kleinen Häusern entstehende Unterdruck normalerweise zwischen 5 und 10 Pa liegt. Sind beispielsweise in großen Mehrfamilienhäusern mechanische Entlüftungsanlagen installiert, ist der Unterdruck etwas größer (zwischen 10 und 50 Pa). Reglergesteuerte Be- und Entlüftungssysteme (mit einer mechanischen Steuerung) sind normalerweise so eingestellt, dass im Inneren ein geringer Unterdruck (zwischen 3 und 5 Pa) entsteht.

Beim so genannten Kamineffekt (Unterschiede in der Luftdichte bei verschiedenen Temperaturen), d. h. bei einem durch Temperaturunterschiede hervorgerufenen Druckgefälle, entsteht im unteren Bereich des Gebäudes ein Unterdruck und im oberen Bereich ein Überdruck. In einer bestimmten Höhe gibt es einen neutralen Bereich, wo der Druck im Gebäudeinneren und im Außenbereich gleich ist (vgl. Abbildung auf Seite 114). Der Differenzdruck ergibt sich aus der folgenden Formel:

$$\triangle p = g \times \rho_u \times h \left(1 - \frac{T_u}{T_i}\right) \text{ Pa}$$

Δp	Druckdifferenz innerhalb des Gebäudes in Pa
g	9,81 m/s^2
ρ_u	Luftdichte in kg/m^3
T_u	Thermodynamische Außenlufttemperatur in K
T_i	Thermodynamische Innenlufttemperatur in K
h	Abstand vom neutralen Bereich in Meter

Wenn ρ_u = 1,29 kg/m^3 (Luftdichte bei einer Temperatur von 273 K und ≈100 kPa), ergibt dies:

$$\triangle p \approx 13 \times h \left(1 - \frac{T_u}{T_i}\right)$$

Bei einer Differenz von +25 °C zwischen den Umgebungstemperaturen im Innen- und Außenbereich ergibt sich innerhalb der Gebäudestruktur ein Druckgefälle von etwa 1 Pa pro Meter Höhenunterschied.

10552003;a1

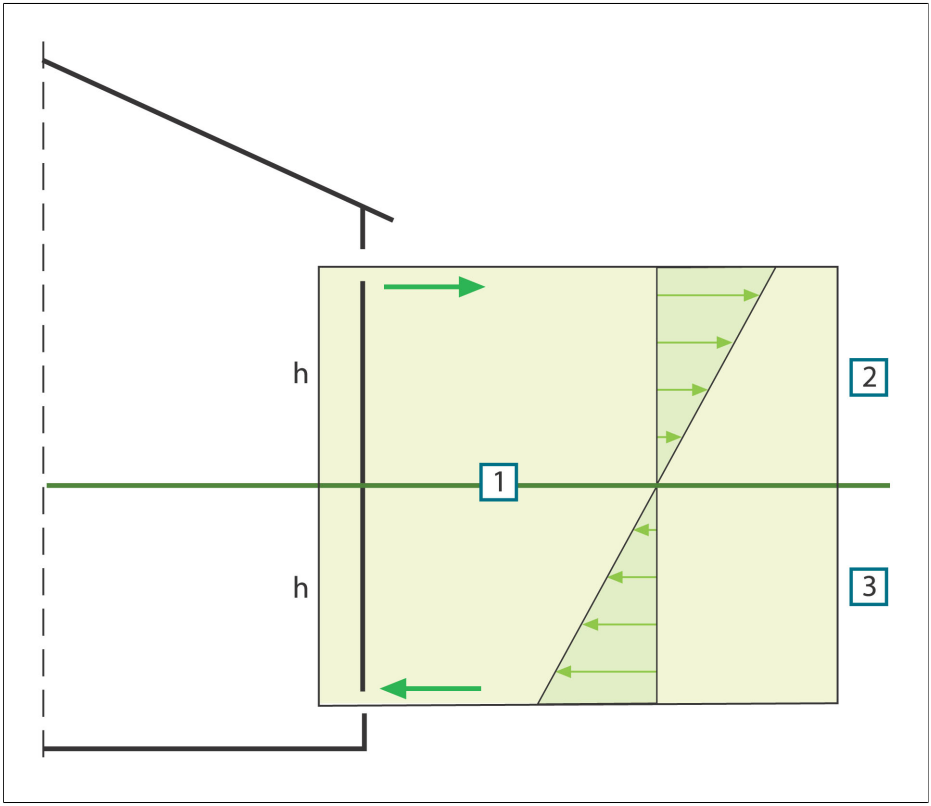


Abbildung 24.5 Druckverteilung in einem Gebäude mit zwei Öffnungen, dessen Innentemperatur höher als die Außentemperatur ist. **1**: Neutraler Bereich; **2**: Überdruck; **3**: Unterdruck; **h**: Abstand vom neutralen Bereich in Meter.

Die Position des neutralen Bereichs kann je nach den im Gebäude vorhandenen Lufteinbrüchen variieren. Sind die Lufteinbrüche gleichmäßig über das Gebäude verteilt, befindet sich der Bereich ungefähr in mittlerer Höhe des Gebäudes. Befinden sich mehr Lufteinbrüche im unteren Gebäudeteil, liegt der neutrale Bereich weiter unten. Befinden sich mehr Lufteinbrüche im oberen Gebäudeteil, liegt der neutrale Bereich weiter oben. Weist das Dach eine Kaminöffnung auf, wirkt sich dies in erheblichem Maße auf die Position des neutralen Bereichs aus und kann einen Unterdruck im gesamten Gebäude bewirken. Dieser Fall tritt am häufigsten bei kleinen Gebäuden ein.

Bei größeren Gebäuden, wie hohen Industriegebäuden, die im unteren Teil Lufteinbrüche an Türen und Fenstern aufweisen, befindet sich der neutrale Bereich bei ungefähr einem Drittel der Gebäudehöhe.

24.3.5 Messbedingungen und Zeitpunkt für Messungen

Die obigen Erläuterungen können hinsichtlich der erforderlichen Messbedingungen bei Thermografieuntersuchungen an Gebäuden folgendermaßen zusammengefasst werden:

Thermografieuntersuchungen werden ausgeführt, wenn störende Einflüsse von externen Klimafaktoren möglichst gering sind. Die Bilder werden daher im Inneren aufgenommen; ist ein Gebäude beispielsweise beheizt, werden seine warmen Oberflächen untersucht.

Im Freien werden nur Thermografieuntersuchungen durchgeführt, um Vergleichsdaten für große Fassaden zu erhalten. In bestimmten Fällen, wenn z. B. die Wärmedämmung sehr schlecht ist oder ein Überdruck im Inneren besteht, sind Außenmessungen unter Umständen sinnvoll. Thermografieaufnahmen an der Außenseite des Gebäudes können auch dann zweckmäßig sein, wenn die Auswirkungen von Installationen in der Klimahülle des Gebäudes untersucht werden sollen.

Folgende Bedingungen sind empfehlenswert:

- Die Differenz der Lufttemperatur im relevanten Gebäudeteil muss bereits einige Stunden vor sowie während der Thermografieuntersuchung mindestens +10 °C betragen. Im selben Zeitraum darf die Differenz der Umgebungstemperatur nicht um mehr als ±30 % der Differenz zum Zeitpunkt des Messbeginns schwanken. Während der Thermografieuntersuchung darf die Umgebungstemperatur im Inneren nicht um mehr als ±2 °C variieren.
- Einige Stunden vor und während der Thermografieuntersuchung darf der relevante Gebäudeteil keiner Sonneneinstrahlung ausgesetzt sein.
- Der Unterdruck im Gebäude sollte ≈ 10 – 50 Pa betragen.
- Sollen anhand einer Thermografieuntersuchung lediglich Lufteinbrüche in den äußeren Bauelementen des Gebäudes ermittelt werden, gelten unter Umständen weniger strenge Anforderungen an die Messbedingungen. Eine Differenz von 5 °C zwischen der Umgebungstemperatur im Inneren und im Außenbereich sollte für den Nachweis solcher Mängel ausreichen. Damit Lufteinbrüche nachgewiesen werden können, müssen jedoch bestimmte Voraussetzungen hinsichtlich des Druckgefälles erfüllt sein. 10 Pa sollten ausreichen.

24.3.6 Auswertung von Infrarotbildern

Der Hauptzweck der Thermografie ist der Nachweis von Fehlern und Mängeln an der Wärmedämmung in Außenwänden und Böden sowie die Bestimmung ihrer Art und ihres Ausmaßes. Mit Hilfe der Thermografie soll also ermittelt werden, ob die untersuchte Wand die zugesicherten Eigenschaften in Bezug auf Wärmedämmung und Luftdichtigkeit erfüllt. Anhand der im Entwurf zugesicherten Eigenschaften in Bezug

auf die Wärmedämmung der Wand kann eine Verteilung der Oberflächentemperatur der untersuchten Oberfläche prognostiziert werden, sofern die Messbedingungen zum Zeitpunkt der Untersuchung bekannt sind.

In der Praxis wird bei dieser Methode folgendermaßen vorgegangen:

Mit Hilfe von Labortests oder Tests vor Ort erfolgt eine Prognose der Temperaturverteilung in Form von typischen Infrarotbildern bzw. Vergleichsbildern für gängige Wandstrukturen. Dabei werden sowohl einwandfreie als auch mangelhafte Strukturen berücksichtigt.

Beispiele für typische Infrarotbilder finden Sie in Abschnitt 24.2 – Typische Einsatzszenarien auf Seite 82.

Sollen Infrarotbilder von strukturellen Bereichen, die bei Messungen vor Ort aufgenommen wurden, als Vergleichsbilder herangezogen werden, müssen der Aufbau der Struktur, die Bauweise und die Messbedingungen zum Zeitpunkt der Aufnahme des Infrarotbildes im Detail bekannt und dokumentiert sein.

Damit bei der Thermografie Aussagen bezüglich der Ursachen für Abweichungen von prognostizierten Ergebnissen getroffen werden können, müssen die physikalischen, messtechnischen und bautechnischen Voraussetzungen bekannt sein.

Die Auswertung von bei Messungen vor Ort aufgenommenen Infrarotbildern kann folgendermaßen zusammengefasst werden:

Ein Vergleichsinfrarotbild für eine einwandfreie Gebäudestruktur wird auf der Grundlage der zu untersuchenden Wandstruktur und der Bedingungen, unter denen die Messung vor Ort durchgeführt wurde, ausgewählt. Anschließend wird ein Infrarotbild des zu untersuchenden Bauelements mit dem ausgewählten Infrarotbild verglichen. Bei allen Abweichungen, die nicht auf die Bauweise des Gebäudes oder die Messbedingungen zurückzuführen sind, besteht der Verdacht eines Wärmedämmungsmangels. Art und Ausmaß des Mangels werden normalerweise mit Hilfe von Vergleichsbildern ermittelt, die verschiedene Mängel darstellen.

Liegt kein geeignetes Vergleichsinfrarotbild vor, erfolgen Aus- und Bewertung auf der Grundlage von Erfahrungswerten. In diesem Fall ist größte Sorgfalt bei der Analyse erforderlich.

Bei der Auswertung eines Infrarotbildes sollten folgende Aspekte berücksichtigt werden:

- Gleichmäßigkeit der Helligkeit bei Infrarotbildern von Oberflächenbereichen ohne Wärmebrücken
- Regelmäßigkeit und Auftreten von kalten Oberflächenbereichen, z. B. an Sparren und Ecken
- Konturen und typische Formen der kalten Oberflächenbereiche

- Gemessene Temperaturunterschiede zwischen der normalen Oberflächentemperatur des Gebäudes und den ausgewählten kalten Oberflächenbereichen
- Kontinuität und Gleichförmigkeit der Isothermenkurve auf der Oberfläche der Gebäudestruktur. In der Kamerasoftware wird die Isothermenfunktion je nach Kameramodell **Isotherme** oder **Farbalarm** genannt.

Abweichungen und Unregelmäßigkeiten im Infrarotbild deuten häufig auf Wärmedämmungsmängel hin. In Infrarotbildern von Gebäudestrukturen mit Wärmedämmungsmängeln sind unter Umständen natürlich beträchtliche Abweichungen zu erkennen. Bestimmte Arten von Wärmedämmungsmängeln weisen auf Infrarotbildern eine charakteristische Form auf.

In Abschnitt 24.2 – Typische Einsatzszenarien auf Seite 82 finden Sie Beispiele zur Auswertung von Infrarotbildern.

Wenn Infrarotbilder eines einzigen Gebäudes aufgenommen werden, sollten Aufnahmen verschiedener Bereiche mit denselben Einstellungen an der Infrarotkamera durchgeführt werden. Dies erleichtert den Vergleich der verschiedenen Oberflächenbereiche.

24.3.7 Feuchtigkeit und Taupunkt

24.3.7.1 Relative und absolute Feuchtigkeit

Die Feuchtigkeit kann auf zwei Arten angegeben werden: entweder als *relative Feuchtigkeit* oder als *absolute Feuchtigkeit*. Die relative Feuchtigkeit gibt an, wie viel Prozent der maximalen Wassermenge bei einer bestimmten Temperatur in der Luft enthalten sind. Die absolute Feuchtigkeit gibt an, wie viel Prozent Wasser eine bestimmte Menge von Material tatsächlich enthält. Die zweite Möglichkeit zur Angabe der Feuchtigkeit wird häufig beim Messen der Feuchtigkeit in Holz und anderen Baustoffen verwendet.

Je höher die Lufttemperatur ist, desto größer ist auch die Wassermenge, die ein Luftvolumen aufnehmen kann. In der folgenden Tabelle sind die Höchstmengen von Wasser in der Luft bei verschiedenen Temperaturen angegeben.

Abbildung 24.6 A: Temperatur in Grad Celsius; **B:** Maximale Wassermenge in g/m^3 (auf Meereshöhe)

A	B	A	B	A	B	A	B
30,0	30,44	20,0	17,33	10,0	9,42	0,0	4,86
29,0	28,83	19,0	16,34	9,0	8,84	-1,0	4,49
28,0	27,29	18,0	15,40	8,0	8,29	-2,0	4,15
27,0	25,83	17,0	14,51	7,0	7,77	-3,0	3,83
26,0	24,43	16,0	13,66	6,0	7,28	-4,0	3,53

A	B	A	B	A	B	A	B
25,0	23,10	15,0	12,86	5,0	6,81	-5,0	3,26
24,0	21,83	14,0	12,09	4,0	6,38	-6,0	3,00
23,0	20,62	13,0	11,37	3,0	5,96	-7,0	2,76
22,0	19,47	12,0	10,69	2,0	5,57	-8,0	2,54
21,0	18,38	11,0	10,04	1,0	5,21	-9,0	2,34

Abbildung 24.7 A: Temperatur in Grad Fahrenheit; **B:** Maximale Wassermenge in gr/ft^3 (auf Meereshöhe)

A	B	A	B	A	B	A	B
86,0	13,30	68,0	7,58	50,0	4,12	32,0	2,12
84,2	12,60	66,2	7,14	48,2	3,86	30,2	1,96
82,4	11,93	64,4	6,73	46,4	3,62	28,4	1,81
80,6	11,29	62,6	6,34	44,6	3,40	26,6	1,67
78,8	10,68	60,8	5,97	42,8	3,18	24,8	1,54
77,0	10,10	59,0	5,62	41,0	2,98	23,0	1,42
75,2	9,54	57,2	5,29	39,2	2,79	21,2	1,31
73,4	9,01	55,4	4,97	37,4	2,61	19,4	1,21
71,6	8,51	53,6	4,67	35,6	2,44	17,6	1,11
69,8	8,03	51,8	4,39	33,8	2,28	15,8	1,02

Beispiel:

Die relative Feuchtigkeit eines bestimmten Luftvolumens bei einer Temperatur von +30 °C beträgt 40 %. Wassermenge in 1 m^3 Luft bei 30 °C = 30,44 × Rel. Feuchtigkeit = 30,44 x 0,40 = 12,18 g

24.3.7.2 Definition des Taupunkts

Unter dem Taupunkt versteht man die Temperatur, bei der die Feuchtigkeit in einem bestimmten Luftvolumen zu flüssigem Wasser kondensiert.

Beispiel:

Die relative Feuchtigkeit eines bestimmten Luftvolumens bei einer Temperatur von +30 °C beträgt 40 %. Wassermenge in 1 m^3 Luft bei 30 °C = 30,44 × Rel. Feuchtigkeit = 30,44 x 0,40 = 12,18 g. Entnehmen Sie die Temperatur, bei der der Wassergehalt der Luft 12,18 g am nächsten kommt, der oben stehenden Tabelle. Sie liegt bei +14,0 °C; dies entspricht in etwa dem Taupunkt.

24.3.8 Auszug aus technischem Hinweis ‘Bewertung von Wärmebrücken und durchgehender Wärmedämmung’ (Beispiel für Großbritannien)

24.3.8.1 Impressum

Die vorliegenden technischen Hinweise (Technical Note, abgekürzt TN) wurden von einer Arbeitsgruppe erstellt, die sich aus Termografiefachleuten und Forschungsberatern zusammensetzt. Da bei der Erstellung weitere Personen und Organisationen zu Rate gezogen wurden, findet dieses Dokument breite Zustimmung in allen Industriebereichen.

Der Inhalt dieser technischen Hinweise wird mit freundlicher Genehmigung der United Kingdom Thermography Association (UKTA) wiedergegeben und ist vollständig urheberrechtlich geschützt.

UK Thermography Association
c/o British Institute of Nondestructive Testing
1 Spencer Parade
Northampton NN1 5AA
United Kingdom

Tel:: +44 (0)1604 630124
Fax: +44 (0)1604 231489

24.3.8.2 Einleitung

In den letzten Jahren war auf dem Gebiet der Thermografie im Hinblick auf Geräte, Anwendungen, Software und Bekanntheitsgrad eine rasante Entwicklung zu verzeichnen. Die Thermografietechnik wurde mehr und mehr in gängige Verfahren integriert, wodurch ein entsprechender Bedarf an Anwendungshandbüchern, Normen und Thermografieschulungen entstanden ist.

Die UKTA hat diese technischen Hinweise erstellt, um bei der Quantifizierung der Ergebnisse einer Überprüfung der ‘Kontinuität der Wärmedämmung’ eine konsistente Vorgehensweise zu etablieren. Das Dokument soll Erstellern von Spezifikationen als Leitfaden für die Einhaltung der Bauvorschriften dienen, so dass ein qualifizierter Thermograph die Überprüfung als bestanden oder nicht bestanden einstufen kann.

24.3.8.3 Hintergrundinformationen

Mit Hilfe der Thermografie können selbst geringe Abweichungen in der Oberflächentemperatur von nur 0,1 K erkannt werden. Des Weiteren können Grafiken erstellt werden, die die Temperaturverteilung auf Gebäudeoberflächen illustrieren.

Durch Abweichungen bei den thermischen Eigenschaften von Gebäudestrukturen, beispielsweise durch eine fehlerhaft angebrachte Wärmedämmung oder Bereiche mit gänzlich fehlender Wärmedämmung, entstehen unterschiedliche Oberflächentem-

peraturen auf beiden Seiten der Gebäudestruktur, die von einem Thermografen erkannt werden können. Darüber hinaus gibt es jedoch noch andere Faktoren, die zu Abweichungen bei der Oberflächentemperatur führen können, beispielsweise lokale Wärmequellen, Reflexionen und Lufteinbrüche.

In der Regel ist nur ein qualifizierter Thermograf in der Lage, tatsächliche Schwachstellen von anderen Ursachen für Temperaturabweichungen zu unterscheiden. Thermografen werden immer häufiger dazu aufgefordert, ihre Bewertung einer Gebäudestruktur zu belegen. Ohne entsprechende Leitlinien kann sich die Festlegung von Grenzwerten für akzeptable und nicht akzeptable Temperaturabweichungen als schwierig erweisen.

Die derzeit gültige Norm in Großbritannien für Wärmebilder von Gebäuden ist BS EN 13187:1999 (BS EN 13187:1999, Thermal Performance of Buildings—Qualitative detection of thermal properties in building envelopes—Infrared method (ISO 6781:1983 modified) (Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - Qualitativer Nachweis von Wärmebrücken in Gebäudehüllen - Infrarot-Verfahren)). In dieser Norm wird die Interpretation der Wärmebilder jedoch erfahrenen Thermografen überlassen, und sie enthält wenig Informationen zur Abgrenzung zwischen akzeptablen und inakzeptablen Abweichungen. Informationen zu verschiedenen thermischen Auffälligkeiten finden Sie in den BINDT Guides to thermal imaging (Infrared Thermography Handbook; Volume 1, Principles and Practise, Norman Walker, ISBN 0903132338, Volume 2, Applications, A. N. Nowicki, ISBN 090313232X, BINDT, 2005).

24.3.8.3.1 Anforderungen

Eine Thermografieuntersuchung zur Feststellung der Kontinuität der Wärmedämmung, von Bereichen mit Wärmebrücken sowie der Erfüllung der Bauvorschriften muss folgende Punkte berücksichtigen:

- Thermische Auffälligkeiten
- Unterscheidung zwischen tatsächlichen thermischen Auffälligkeiten, bei denen die Temperaturunterschiede auf Wärmedämmungsmängel zurückzuführen sind und solchen, die eine falsche Interpretation von Faktoren wie örtlich begrenzte Unterschiede durch Luftströmungen, Reflexionen und Emissionsgraden darstellen.
- Quantifizierung der betroffenen Bereiche im Verhältnis zu den Bereichen mit vollständiger Wärmedämmung
- Angabe, ob die Auffälligkeiten und die Wärmedämmung des Gebäudes insgesamt akzeptabel sind

24.3.8.4 Quantitative Bewertung thermischer Auffälligkeiten

Bei einer Thermografieuntersuchung treten Unterschiede in Bezug auf die scheinbare Temperatur von Bereichen innerhalb des Sichtfeldes zu Tage. Damit die Untersuchung zweckdienlich ist, müssen alle scheinbaren Mängel systematisch erfasst werden.

Diese müssen dann mit Hilfe vorab festgelegter Kriterien ausgewertet werden, wobei diejenigen Auffälligkeiten, die keine tatsächlichen Mängel darstellen, zuverlässig ausgeschlossen werden müssen. Die tatsächlichen Mängel müssen bewertet und das Ergebnis dem Kunden mitgeteilt werden.

24.3.8.4.1 Auswahl kritischer Temperaturparameter

Die Informationsschrift IP17/01 von BRE (Information Paper IP17/01, Assessing the Effects of Thermal Bridging at Junctions and Around Openings. Tim Ward, BRE, 2001) enthält nützliche Hinweise zu akzeptablen Mindestwerten für Oberflächentemperaturen im Innenbereich sowie für entsprechende Werte für den Faktor der kritischen Oberflächentemperatur (f_{CRsi}). Durch die Verwendungen eines Oberflächentemperaturfaktors sind unter jeglichen thermischen Bedingungen Untersuchungen möglich, mit deren Hilfe Bereiche mit Kondensations- oder Schimmelbildungsrisiko in der Bauphase ermittelt werden können.

Die tatsächliche Oberflächentemperatur ist abhängig von den Innen- und Außentemperaturen zum Zeitpunkt der Untersuchung. Es wurde jedoch ein Oberflächentemperaturfaktor (f_{Rsi}) entwickelt, der von den absoluten Bedingungen unabhängig ist. Dieser Faktor stellt das Verhältnis des Temperaturabfalls innerhalb der Gebäudestruktur zum Gesamttemperaturabfall zwischen Innen- und Außenluft dar.

Für Untersuchungen im Innenbereich: $f_{Rsi} = (T_{si} - T_e)/(T_i - T_e)$

T_{si} = Oberflächentemperatur im Innenbereich
T_i = Lufttemperatur im Innenbereich
T_e = Lufttemperatur im Außenbereich

Ein f_{CRsi}-Wert von 0,75 gilt für Neubauten als geeignet, da bei der Überprüfung der ‘Durchgängigkeit der Wärmedämmung’ bzw. von ‘Wärmebrücken’ die intensive Nutzung nicht als Faktor berücksichtigt wird. Bei der Untersuchung von Umbauten oder Erweiterungsbauten, z. B. beim Bau von Schwimmbecken, müssen bei Untersuchungen im Innenbereich jedoch ungewöhnliche Begleitumstände berücksichtigt werden.

24.3.8.4.2 Alternative Methode mit ausschließlicher Verwendung von Oberflächentemperaturen

Viele Gründe sprechen dafür, Thermografieuntersuchungen allein auf der Grundlage von Oberflächentemperaturen durchzuführen und keine Messung der Lufttemperatur vorzunehmen.

- Die innerhalb von Gebäuden auftretende Stratifizierung macht eine Einbeziehung der Lufttemperaturen im Innenbereich äußerst schwierig. Es muss entschieden werden, ob die durchschnittliche Lufttemperatur, die Niedrigst- oder Höchsttemperatur oder die Temperatur des auffälligen Bereiches zugrunde gelegt werden soll und in welchem Abstand zur Wand sie gemessen werden soll.

- Die Einbeziehung der Außentemperatur wird durch Strahlungseffekte wie beispielsweise die Strahlung zum Nachthimmel erschwert. Es ist nicht ungewöhnlich, dass die Temperatur der Außenfläche einer Gebäudestruktur unter der Lufttemperatur liegt, da die Abstrahlung zum Himmel nur –50 °C betragen kann. Dies ist mit bloßem Auge zu erkennen, da Tau und Frost häufig auch dann auf Gebäudeoberflächen auftreten, wenn die Lufttemperatur nicht unter den Taupunkt fällt.
- Es sei darauf hingewiesen, dass den U-Werten Umgebungstemperaturen auf beiden Seiten der Gebäudestruktur zugrunde liegen. Dies wird von vielen unerfahrenen Thermografen nicht berücksichtigt.
- Bei den beiden Temperaturen, die einen starken Bezug zum Wärmetransport durch Gebäudestrukturen (und jegliche Feststoffe) haben, handelt es sich um die Oberflächentemperaturen der beiden Seiten.
- Bei Einbeziehung der Oberflächentemperaturen kann die Untersuchung besser wiederholt werden.
- Als Oberflächentemperaturen werden die Durchschnittswerte der Oberflächentemperaturen desselben Materials in der Nähe der Auffälligkeit verwendet, die an der Innen- und Außenseite der Struktur gemessen wurden. In Verbindung mit dem Temperaturwert des auffälligen Bereichs kann in Abhängigkeit von diesen Temperaturen und unter Verwendung des Faktors der kritischen Oberflächentemperatur ein Schwellenwert festgelegt werden.
- Dessen ungeachtet muss der Thermograf weiterhin auf Reflexionen von Objekten mit ungewöhnlichen Temperaturen im Hintergrund achten, die den Oberflächen der Gebäudestruktur gegenüberliegen.
- Des Weiteren sollte der Thermograf einen Vergleich zwischen den Außenflächen mit unterschiedlicher Ausrichtung anstellen, um festzustellen, ob auf den externen Oberflächen eine Restwärme auf Grund von Sonneneinstrahlung vorhanden ist.
- Bei Oberflächen, deren $T_{si} – T_{so}$-Wert den $T_{si} – T_{so}$-Wert auf der Nordseite oder der dem Norden am ehesten zugewandten Seite um mehr als 10 % übersteigt, sollten keine Untersuchungen im Außenbereich durchgeführt werden.
- Für Mängel, bei denen der Faktorwert 0,75 gemäß IP17/01 zu einem Nichtbestehen der Untersuchung führen würde, wird für Oberflächen auf der Innenseite für die kritische Oberflächentemperatur der Faktor 0,78 und für Oberflächen auf der Außenseite der Faktor 0,93 verwendet.

Die nachfolgende Tabelle enthält die Oberflächentemperaturen auf der Innen- und Außenseite für einen auffälligen Bereich, die gemäß IP17/01 ein Nichtbestehen zur Folge haben. Weiterhin wird angegeben, welche Mängel in der Wärmedämmung hierfür verantwortlich sind.

Beispiel für Blechfassadenverkleidung mit fehlerhafter Wärmedämmung	**Intakter Bereich**	**Mängelbereich**
Außentemperatur in °C	0	0

Beispiel für Blechfassadenverkleidung mit fehlerhafter Wärmedämmung	Intakter Bereich	Mängelbereich
Oberflächentemperatur der Innenseite in °C	19,1	15,0
Oberflächentemperatur der Außenseite in °C	0.3	1.5
Oberflächenfaktor gemäß IP17/01	0,95	0,75
Faktor für kritische Oberflächentemperatur im Außenbereich gemäß IP17/01		0,92
Dicke der Wärmedämmung (in mm), die das jeweilige Ergebnis liefert	80	5,1
Lokaler U-Wert in W/m^2K	0,35	1,92
Oberflächenfaktor gemäß TN1 der UKTA		0,78
Oberflächenfaktor (außen) gemäß TN1 der UKTA		0,93

Anmerkungen zur Tabelle

1 Werte für Oberflächenwiderstände gemäß ADL2 2001:

- Oberfläche innen 0,13 m^2K/W
- Oberfläche außen 0,04 m^2K/W

Diese Angaben stammen aus der Norm BS EN ISO 6946 (BN EN ISO 6946:1997 Building components and building elements - Thermal resistance and thermal transmittance - Calculation method (Bauteile - Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient - Berechnungsverfahren)).

2 Für die hier verwendete Wärmedämmung wird eine Wärmeleitfähigkeit von 0,03 W/m K angenommen.

3 Der Temperaturunterschied zwischen intakten und mangelhaften Bereichen liegt im Außenbereich bei 1,2 Grad und im Innenbereich bei 4,1 Grad.

4 Der Oberflächentemperaturfaktor für Untersuchungen im Innenbereich lautet gemäß TN1 der UKTA:
$F_{si} = (T_{sia} - T_{so})/(T_{si} - T_{so})$
Es gilt:
T_{sia} = Oberflächentemperatur im Innenbereich (Mängelbereich)
T_{so} = Oberflächentemperatur im Außenbereich (intakter Bereich)
T_{si} = Oberflächentemperatur im Innenbereich (intakter Bereich)

5 Der Oberflächentemperaturfaktor für Untersuchungen im Außenbereich lautet gemäß TN1 der UKTA:
$F_{so} = (T_{soa} - T_{si})/(T_{so} - T_{si})$
Es gilt: T_{soa} = Oberflächentemperatur im Außenbereich (Mängelbereich)

24.3.8.4.3 Auswählen des maximal akzeptablen Mängelbereichs

Der zulässige Mängelbereich ist für die Qualitätskontrolle problematisch. Man könnte argumentieren, dass es keinen Bereich mit Kondensation, Schimmelwachstum oder mangelhafter Wärmedämmung geben darf und dass solche Auffälligkeiten im Untersuchungsbericht angegeben werden müssen. Im Allgemeinen wird jedoch ein Wert von 0,1 % der betroffenen Gebäudeoberfläche als maximal zulässiger Mängelbereich in Bezug auf die Bauvorschriften akzeptiert. Dies ist ein Tausendstel Quadratmeter.

24.3.8.4.4 Messen der Oberflächentemperatur

Zur Messung der Oberflächentemperatur wird das Infrarotbildsystem eingesetzt. Ein geschulter Thermograf erkennt, dokumentiert und meldet Abweichungen von Emissionsgrad und Reflexion bei den untersuchten Oberflächen.

24.3.8.4.5 Messen des Mängelbereichs

Die Messung des Mängelbereichs kann durch Zählen der Pixel in der Infrarotanalyse-Software oder vieler Tabellenkalkulationspakete erfolgen. Hierfür gelten folgende Voraussetzungen:

- Der Abstand zwischen Kamera und Objekt muss (in der Regel mit einem Lasermessgerät) exakt gemessen werden.
- Beim Abstand zum Ziel muss das IFOV (momentanes Sichtfeld) des Wärmebildsystems berücksichtigt werden.
- Jegliche Änderung des Kamerawinkels in senkrechter Richtung in Bezug auf die Oberfläche des Messobjekts muss berücksichtigt werden.

Gebäude setzen sich aus zahlreichen Komponenten zusammen, die quantitative Untersuchungen erschweren. Hierzu zählen Fenster, Deckenleuchten, Leuchtkörper, Wärmequellen, Kühlsysteme, Hausanschlüsse und elektrische Leitungen. Die Beziehungen zwischen diesen Objekten und der Gebäudehülle sind jedoch als Teil der Untersuchung zu betrachten.

24.3.8.5 Bedingungen und Ausrüstung

Um bei einer Untersuchung der Wärmedämmung optimale Ergebnisse zu erzielen, müssen die Umgebungsbedingungen berücksichtigt und geeignete Thermografiemethoden eingesetzt werden.

Thermische Auffälligkeiten zeigen sich dem Thermografen nur dort, wo Temperaturunterschiede vorhanden sind und Umgebungsbedingungen berücksichtigt werden. Folgende grundlegende Bedingungen sollten mindestens erfüllt werden:

- Temperaturunterschiede in der Gebäudestruktur sind größer als 10 °C.
- Unterschied zwischen der Lufttemperatur im Innenbereich und Lufttemperatur der Umgebung war in den letzten 24 Stunden vor der Untersuchung größer als 5 °F.

- Lufttemperatur im Außenbereich lag für die Dauer der Untersuchung und eine Stunde davor bei ±3 °C.
- Lufttemperatur im Außenbereich lag für die vorangegangenen 24 Stunden bei ±10 °C.

Darüber hinaus müssen bei Untersuchungen im Außenbereich folgende Bedingungen erfüllt werden:

- Die zu untersuchenden Oberflächen sollten weder direkter Sonneneinstrahlung ausgesetzt sein noch darf eine Restwärme vorhanden sein. Dies können Sie überprüfen, indem Sie die Oberflächentemperaturen der gegenüberliegenden Seiten des Gebäudes vergleichen.
- Kurz vor und während der Untersuchung dürfen keine Niederschläge auftreten.
- Alle zu untersuchenden Gebäudeoberflächen müssen trocken sein.
- Die Windgeschwindigkeit muss unter 10 m/s liegen.

Außer der Temperatur müssen bei der Planung von Thermografieuntersuchungen an Gebäuden weitere Umgebungsbedingungen berücksichtigt werden. Untersuchungen im Außenbereich können beispielsweise durch Abstrahlungen oder Reflexionen von benachbarten Gebäuden oder einen kalten wolkenlosen Himmel und mehr noch durch den Oberflächenerwärmungseffekt der Sonne beeinflusst werden.

Wenn sich die Hintergrundtemperaturen von der Lufttemperatur im Innen- oder Außenbereich um mehr als 5 K unterscheiden, müssen die Hintergrundtemperaturen aller betroffenen Oberflächen gemessen werden, um exakte Ergebnisse für die Oberflächentemperatur zu erhalten.

24.3.8.6 Untersuchung und Analyse

Der nachfolgende Abschnitt enthält Anleitungen zur Vorgehensweise für den Thermografen.

Bei der Untersuchung müssen genug thermografische Daten erfasst werden, die belegen, dass alle Oberflächen ordnungsgemäß untersucht und alle thermischen Auffälligkeiten erkannt und bewertet wurden.

Zunächst müssen bei allen thermografischen Untersuchungen u. a. folgende Umgebungsdaten erfasst werden:

- Innentemperatur im auffälligen Bereich
- Außentemperatur im auffälligen Bereich
- Emissionsgrad der Oberfläche
- Hintergrundtemperatur
- Abstand zur Oberfläche

Ermitteln Sie durch Interpolation die zu verwendende Schwellentemperatur.

- Bei Untersuchungen im Innenbereich wird der Schwellenwert für die Oberflächentemperatur (T_{sia}) folgendermaßen berechnet: $T_{sia} = f_{si}(T_{si} - T_{so}) + T_{so}$. Der Thermograf hält Ausschau nach Oberflächentemperaturen, die über diesem Schwellenwert liegen.
- Bei Untersuchungen im Außenbereich wird der Schwellenwert für die Oberflächentemperatur (T_{soa}) folgendermaßen berechnet: $T_{soa} = f_{so}(T_{so} - T_{si}) + T_{si}$. Der Thermograf hält Ausschau nach Oberflächentemperaturen, die über diesem Schwellenwert liegen.

Die bildliche Erfassung von Auffälligkeiten muss so erfolgen, dass eine Analyse problemlos möglich ist:

- Das Bild muss im rechten Winkel zu vorhandenen Wand- oder Dachkomponenten aufgenommen werden.
- Der Betrachtungswinkel ist nahezu rechtwinklig zur aufzunehmenden Oberfläche. Störende Infrarotstrahlung von Lampen, Wärmequellen, elektrischen Leitungen und reflektierenden Elementen wird minimiert.

Die Analysemethode ist abhängig von der verwendeten Analysesoftware, die wichtigsten Phasen sind jedoch überall identisch:

Erfassen Sie jede Auffälligkeit oder Ansammlung von Auffälligkeiten in einem Bild.

- Verwenden Sie eine Analysesoftware, um den auffälligen Bereich innerhalb des Bildes zu erfassen, und achten Sie darauf, dass keine Bauelemente erfasst werden, die ausgeschlossen werden sollen.
- Berechnen Sie für Untersuchungen im Innenbereich den Bereich unterhalb der Schwellentemperatur bzw. für Untersuchungen im Außenbereich den Bereich oberhalb der Schwellentemperatur. Hierbei handelt es sich um den Mängelbereich. Bestimmte Auffälligkeiten, die während der Untersuchung als Mängel gedeutet wurden, sind in dieser Phase möglicherweise nicht als Mängelbereiche zu erkennen.
- Fügen Sie die Mängelbereiche aus allen Bildern ($\sum A_d$) hinzu.
- Berechnen Sie die Gesamtfläche der exponierten Gebäudestruktur. Hierbei handelt es sich um alle Wand- und Dachoberflächen. Bei einem Gebäude mit einfachem Umriss wird dies mit Hilfe der Gesamtlänge, -breite und -höhe berechnet.
  $A_t = (2h(L + w)) + (Lw)$
- Identifizieren Sie den kritischen Mängelbereich A_c. Dieser ist vorläufig als ein Tausendstel bzw. 0,1 % der Gesamtoberfläche festgelegt.
  $A_c = A_t/1000$
- Wenn $\sum A_d < A_c$, kann für das Gebäude insgesamt ausgesagt werden, dass es über eine ‘einigermaßen durchgängige’ Wärmedämmung verfügt.

24.3.8.7 Berichterstellung

Die Berichte müssen ein Ergebnis (Bestanden/Nicht bestanden) beinhalten, die Anforderungen des Kunden erfüllen und mindestens die gemäß BSEN 13187 erforderlichen Informationen enthalten. Damit die Untersuchung nach der Reparatur wiederholt werden kann, sind normalerweise die folgenden Daten erforderlich:

- Hintergründe und Grundlagen der Untersuchung
- Ort, Himmelsrichtung, Datum und Uhrzeit der Untersuchung
- Eine eindeutige Referenz zur Identifizierung
- Name und berufliche Qualifikation des Thermografen
- Gebäudeart
- Wetterbedingungen, Windgeschwindigkeit und -richtung, letzte Niederschläge, Sonnenschein, Bewölkungsgrad
- Umgebungstemperaturen im Innen- und Außenbereich vor und zu Beginn der Untersuchung sowie zum Zeitpunkt jeder Bilderfassung. Auch Lufttemperatur und Strahlungstemperatur müssen aufgezeichnet werden.
- Etwaige Abweichungen von wichtigen Untersuchungsanforderungen
- Verwendete Ausrüstung, Datum der letzten Kalibrierung, bekannte Mängel
- Name, Zugehörigkeit und Qualifikation des Prüfers
- Art, Ausmaß und Lage jedes festgestellten Mängels
- Ergebnisse zusätzlicher Messungen und Untersuchungen
- Die Berichte müssen vom Thermografen mit einem Index versehen und archiviert werden.

24.3.8.7.1 Erwägungen und Einschränkungen

Ob die Untersuchung im Innen- oder Außenbereich durchgeführt wird, ist abhängig von folgenden Bedingungen:

- Zugänglichkeit der Oberfläche. Bei Gebäuden, deren Außen- und Innenoberflächen verdunkelt sind, beispielsweise durch eingezogene Decken, Regale oder an den Wänden gestapelten Materialien, ist eine Untersuchung dieser Art unter Umständen nicht möglich.
- Lage der Wärmedämmung. Am effektivsten sind Untersuchungen, die an der Seite durchgeführt werden, die der Wärmedämmung am nächsten liegt.
- Lage schwergewichtiger Materialien. Untersuchungen, die an der Seite durchgeführt werden, die schwergewichtigen Materialien am nächsten liegt, sind in der Regel weniger effektiv.
- Der Zweck der Untersuchung. Wenn bei der Untersuchung das Risiko von Kondensation und Schimmelwachstum ermittelt werden soll, muss sie im Innenbereich durchgeführt werden.
- Lage von Glas, unlackiertem Metall und anderen Materialien, die stark reflektieren. Untersuchungen an stark reflektierenden Oberflächen sind in der Regel weniger effektiv.

- Bei einem Mängelbereich ist auf der Wandaußenseite auf Grund von Außenluftströmungen meist ein geringerer Temperaturunterschied zu verzeichnen. Eine fehlende oder schadhafte Wärmedämmung in der Nähe der Außenoberfläche kann jedoch von außen meist schneller erkannt werden.

24.4 Haftungsausschluss

24.4.1 Urheberrechtliche Hinweise

Das Urheberrecht für einige Abschnitte und/oder Abbildungen in diesem Kapitel liegt bei den folgenden Organisationen und Unternehmen:

- FORMAS—The Swedish Research Council for Environment, Agricultural Sciences and Spatial Planning, Stockholm, Sweden
- ITC—Infrared Training Center, Boston, MA, United States
- Stockton Infrared Thermographic Services, Inc., Randleman, NC, United States
- Professional Investigative Engineers, Westminster, CO, United States
- United Kingdom Thermography Association (UKTA)

24.4.2 Schulung und Zertifizierung

Für die Durchführung von Thermografieuntersuchungen an Gebäuden sind umfangreiche Schulungsmaßnahmen und fundiertes Fachwissen erforderlich. Unter Umständen ist auch eine Zertifizierung durch eine nationale oder regionale Regulierungsbehörde erforderlich. Dieser Abschnitt ist lediglich als Einführung in die Gebäudethermografie gedacht. Dem Benutzer wird dringend empfohlen, an entsprechenden Schulungsveranstaltungen teilzunehmen.

Weitere Informationen zu Schulungen im Bereich Infrarottechnik finden Sie auf folgender Website:

http://www.infraredtraining.com

24.4.3 Nationale oder regionale Bauordnungen

Die kommentierten Gebäudestrukturen in diesem Kapitel können je nach Land in ihrer Bauweise variieren. Weitere Informationen zur Bauweise und zu Standardverfahren finden Sie in den jeweiligen nationalen oder regionalen Bauordnungen.

25 Einführung in die thermografische Untersuchung elektrischer Anlagen

25.1 Wichtiger Hinweis

Die Konfiguration Ihrer speziellen Kamera unterstützt möglicherweise nicht alle in diesem Abschnitt beschriebenen Funktionen.

Die Bestimmungen für elektrische Anlagen und Geräte variieren von Land zu Land. Deshalb stimmen die in diesem Abschnitt beschriebenen Verfahren möglicherweise nicht mit den Standardverfahren in Ihrem Land überein. Des Weiteren dürfen Untersuchungen an elektrischen Anlagen in vielen Ländern nur von Fachpersonal durchgeführt werden. Informieren Sie sich stets über die entsprechenden nationalen oder regionalen Bestimmungen.

25.2 Allgemeine Informationen

25.2.1 Einleitung

Heutzutage ist die Thermografie ein gängiges Verfahren zur Untersuchung elektrischer Anlagen. Dies war der erste und ist bis heute der größte Anwendungsbereich der Thermografie. Die Infrarotkamera hat ein beachtliche Entwicklung durchgemacht, so dass heute die achte Generation thermografischer Systeme erhältlich ist. Alles begann 1964, also vor über 40 Jahren. Die Infrarotkamera wird mittlerweile auf der ganzen Welt eingesetzt. Industrieländer sowie Entwicklungsländer haben dieses Verfahren übernommen.

Thermografie in Verbindung mit Schwingungsanalyse wurde in den letzten Jahrzehnten zur meist verwendeten Methode in der Industrie für die Fehlerortung im Rahmen eines vorbeugenden Instandhaltungsprogramms. Der große Vorteil bei diesen Methoden ist, dass die Untersuchung an Anlagen, die in Betrieb sind, durchgeführt werden kann. Normale Arbeitsbedingungen sind für korrekte Messergebnisse sogar Voraussetzung. Das laufende Herstellungsverfahren wird somit nicht unterbrochen. Thermografische Untersuchungen an elektrischen Anlagen werden hauptsächlich in folgenden drei Bereichen angewendet:

- Energieerzeugung
- Energieübertragung
- Energieverteilung (der Einsatz von Elektroenergie in der Industrie)

Die Tatsache, dass diese Untersuchungen bei normalen Arbeitsbedingungen durchgeführt werden, hat zu einer thermischen Unterteilung dieser Gruppen geführt. Energieerzeuger führen Messungen zu den Zeiten durch, zu denen die Anlagen stark belastet sind. Die Zeiten variieren je nach Land und Klimazone. Die Messzeiträume können auch vom jeweils untersuchten Anlagentyp abhängen, je nachdem, ob es sich um eine hydroelektrische, nukleare, kohlebasierte oder ölbasierte Anlage handelt.

In der Industrie werden (zumindest in nordischen Ländern mit deutlichen jahreszeitlichen Unterschieden) die Untersuchungen im Frühjahr oder im Herbst oder vor längeren Betriebsunterbrechungen durchgeführt. Somit werden die Reparaturen dann vorgenommen, wenn der Betrieb ohnehin unterbrochen wird. Diese Vorgehensweise findet jedoch immer weniger Anwendung, was zu Untersuchungen der Anlagen unter verschiedenen Last- und Betriebsbedingungen führte.

25.2.2 Allgemeine Anlagendaten

Die zu untersuchende Anlage weist ein bestimmtes Temperaturverhalten auf, das dem Thermografen vor der Durchführung der Untersuchung bekannt sein sollte. Im Falle von elektrischen Anlagen ist das physikalische Gesetz, bei dem Schwachstellen auf Grund von erhöhtem Widerstand oder erhöhtem elektrischen Strom ein anderes Temperaturmuster aufweisen, bekannt.

Jedoch sollte nicht vergessen werden, dass in manchen Fällen, beispielsweise bei Solenoiden, eine ‘Überhitzung’ normal ist und nicht auf einen entstehenden Mangel hinweist. In anderen Fällen, wie beispielsweise bei Verbindungen in Elektromotoren, kann die erhöhte Temperatur dadurch entstehen, dass der mängelfreie Teil die gesamte Last übernimmt und deshalb überhitzt.

Ein ähnliches Beispiel finden Sie in Abschnitt 25.5.7 – Überhitzung eines Bereichs auf Grund einer Schwachstelle in einem anderen Bereich auf Seite 147.

Schwachstellen bei elektrischen Anlagen können sowohl überhitzt als auch kühler sein als die normalen ‘gesunden’ Komponenten. Um zu wissen was auf einen zukommt, ist es wichtig, vor der Untersuchung über die Anlage informiert zu sein.

Im Allgemeinen wird ein sogenannter Hotspot (Bereich mit erhöhter Temperatur) jedoch durch eine mögliche schadhafte Stelle verursacht. Die Temperatur und die Belastung der jeweiligen Komponente bei der Untersuchung gibt an, wie ernst die Schwachstelle ist und unter anderen Bedingungen noch werden kann.

Für die richtige Beurteilung im einzelnen Fall sind detaillierte Informationen zum thermischen Verhalten der Komponente notwendig. Die maximal erlaubte Temperatur des Materials und die Funktion der Komponente im System müssen bekannt sein.

Kabelisolierungen verlieren beispielsweise ab einer bestimmten Temperatur ihre isolierenden Eigenschaften und erhöhen somit die Brandgefahr.

In Trennschaltern mit zu hohen Temperaturen können Teile schmelzen und der Trennschalter kann sich nicht mehr öffnen. Somit verliert er seine Funktion.

Je mehr der Benutzer der Infrarotkamera über die zu untersuchende Anlage weiß desto besser wird die Qualität der Untersuchung. Es ist jedoch praktisch unmöglich, dass ein IR-Thermograf über detaillierte Kenntnisse zu allen verschiedenen untersuchbaren Anlagetypen verfügt. Deshalb ist es üblich, dass die für die Anlage verantwortliche Person während der Untersuchung anwesend ist.

25.2.3 Untersuchung

Die Untersuchungsvorbereitung sollte die Auswahl des richtigen Berichttyps beinhalten. Oft ist es notwendig zusätzliche Ausrüstung, wie beispielsweise ein Strommessgerät zum Messen der Stromstärke in den Kreisläufen, in denen die Mängel gefunden wurden, zu verwenden. Ein Anemometer ist notwendig, wenn Sie die Windgeschwindigkeit bei der Untersuchung von Ausrüstung im Freien messen möchten.

Automatische Funktionen helfen dem Benutzer der Infrarotkamera beim Sichtbarmachen der Komponenten eines Infrarotbilds mit dem richtigen Kontrast, um eine Schwachstelle oder einen Hotspot zu erkennen. Es ist fast unmöglich einen Hotspot auf einer erfassten Komponente zu übersehen. Eine Messfunktion zeigt automatisch den heißesten Punkt innerhalb eines Bereichs im Bild an oder die Differenz zwischen der maximalen Temperatur im gewählten Bereich und einer vom Thermografen gewählten Referenz, beispielsweise die Umgebungstemperatur.

10712703;a3

Abbildung 25.1 Infrarot- und Tageslichtaufnahme eines Trennschalters

Wenn die Schwachstelle klar identifiziert wurde und der IR-Thermograf sich vergewissert hat, dass es sich nicht um eine Reflexion oder einen durch natürliche Gegebenheiten entstandenen Hotspot handelt, beginnt das Sammeln der Daten, um die Schwachstellen korrekt aufzunehmen. Der Emissionsgrad, die Identifikation der Komponente und die tatsächlichen Arbeitsbedingungen werden zusammen mit der gemessenen Temperatur protokolliert. Um die Identifikation zu erleichtern, wird oft eine Tageslichtfoto der Schwachstelle gemacht.

25.2.4 Klassifizierung und Berichterstellung

Die Berichterstellung ist seit jeher der zeitaufwändigste Teil der Infrarotuntersuchung. Eine Untersuchung, die einen Tag gedauert hat, kann ein oder zwei Tage Arbeit bedeuten, um die gefundenen Schwachstellen zu dokumentieren und zu klassifizieren. Dies trifft immer noch für viele Thermografen zu, die die Vorteile von Computern und der modernen Berichterstellungssoftware noch nicht nutzen.

Das Klassifizieren der Mängel gibt einen detaillierteren Einblick, der nicht nur die Situation zum Zeitpunkt der Untersuchung in Betracht zieht (was sicherlich sehr wichtig ist) sondern auch die Möglichkeit die Übertemperatur an die Standardbelastung und Umgebungstemperatur anzupassen.

Eine Übertemperatur von +30 °C ist ein erheblicher Mangel. Wenn die Übertemperatur bei einer Komponente einer Anlage gemessen wurde, die zu 100 % belastet ist, und bei einer anderen, die nur eine Belastung von 50 % hat, wird die letztere eine viel höhere Temperatur erreichen, wenn ihre Last von 50 % auf 100 % steigt. Ein solcher Standard kann je nach den Gegebenheiten der Anlage festgelegt werden. Meistens werden die Temperaturen jedoch für eine 100%-ige Belastung vorhergesagt. Ein Standard erleichtert das Vergleichen der Schwachstellen und ermöglicht eine genauere Klassifizierung.

25.2.5 Priorität

Der Wartungsleiter legt auf Grund der Klassifizierung der Mängel fest in welcher Reihenfolge diese behoben werden. Die während der Infrarotuntersuchung gesammelten Informationen werden oft durch Informationen zur Ausrüstung ergänzt. Diese stammen aus Schwingungsüberwachungen, Ultraschalluntersuchungen oder der vorbeugenden Instandhaltung.

Auch wenn IR-Untersuchungen die sich am schnellsten verbreitende Methode zur Erfassung von Daten zu elektrischen Komponenten unter normalen Betriebsbedingungen ist, gibt es noch viele andere Datenquellen, die der Wartungs- oder Produktionsleiter beachten muss.

Die Reihenfolge der Behebung der Mängel sollte deshalb nicht die Aufgabe des Benutzers der Infrarotkamera sein. Wenn während der Untersuchung oder der Klassifizierung ein Mangel gefunden wird, muss dies dem Wartungsleiter mitgeteilt werden. Letztendlich entscheidet jedoch er wie dringlich die Behebung des Mangels ist.

25.2.6 Behebung

Die Behebung bekannter Mängel ist die wichtigste Aufgabe der vorbeugenden Instandhaltung. Die Sicherstellung der Produktion zur richtigen Zeit und zu den richtigen Kosten kann ebenfalls wichtige Ziele für eine Instandhaltungsgruppe sein. Die Daten aus der Infrarotuntersuchung können sowohl zur Verbesserung der Mängelbehebung verwendet werden als auch zum Erreichen anderer Ziele mit kalkuliertem Risiko.

Die Überwachung der Temperatur eines bekannten Mangels, der nicht sofort behoben werden kann, beispielsweise weil keine Ersatzteile verfügbar sind, kostet oft ein Tausendfaches der Untersuchung und manchmal sogar soviel wie die Infrarotkamera. Die Entscheidung bekannte Mängel nicht zu beheben, um Wartungskosten und unnötige Ausfallzeiten zu vermeiden, ist eine andere Möglichkeit, die Daten der IR-Untersuchung produktiv zu nutzen.

Meistens wird nach der Identifizierung und Klassifizierung der festgestellten Schwachstellen empfohlen, diese sofort oder so schnell wie möglich zu beheben. Es ist wichtig, dass die für die Behebung zuständigen Personen sich mit den physikalischen Gesetzmäßigkeiten auskennen. Falls eine Schwachstelle eine hohe Temperatur aufweist, gehen die Reparaturmitarbeiter von einer stark korrodierten Komponente aus. Die Mitarbeiter sollten aber auch damit vertraut sein, dass ein intaktes, jedoch locker sitzendes Verbindungsstück dieselbe hohe Temperatur wie das korrodierte zur Folge haben kann. Diese Fehlinterpretationen kommen häufig vor und stellen die Zuverlässigkeit der Infrarotuntersuchung in Frage.

25.2.7 Überprüfung

Ein behobener Mangel sollte so früh wie möglich nach der Behebung überprüft werden. Es ist nicht effizient mit der Überprüfung der behobenen Mängel bis zur nächsten geplanten IR-Untersuchung zu warten. Statistiken zeigen, dass bis zu ein Drittel der behobenen Mängel immer noch eine Überhitzung aufweist. Somit stellen diese Mängel eine potentielle Gefahr dar.

Um die Anlage keiner unnötigen Gefahr auszusetzen, sollte nicht bis zur nächsten IR-Untersuchung gewartet werden.

Abgesehen von der erhöhten Effizienz des Wartungszyklus (weniger Gefahr für die Anlage) bietet die sofortige Überprüfung der Reparaturarbeiten auch andere Vorteile.

Falls ein Mangel nach der Behebung immer noch eine Überhitzung aufweist, kann der Reparaturvorgang verbessert werden, indem der Grund der Überhitzung bestimmt wird. Somit können die besten Zulieferer ausgewählt werden und Konstruktionsmängel an der elektrischen Anlage ausfindig gemacht werden. Die Reparaturmitarbeiter können die Folgen ihrer Arbeit sehen und somit schnell von erfolgreichen Behebungen sowie aus Fehlern lernen.

Ein weiterer Grund, warum das Reparaturteam mit einem IR-Gerät ausgestattet sein sollte, ist, dass viele der während der IR-Untersuchung ermittelten Mängel eine geringe Priorität aufweisen. Anstatt die Mängel zu beheben, was Wartungs- und Produktionszeit kostet, kann man sie auch durch regelmäßige Überprüfungen unter Kontrolle halten. Deshalb sollte das Wartungspersonal Zugang zur eigenen IR-Ausrüstung haben.

Auf dem Berichtsformular werden in der Regel die während der Reparatur festgestellte Art der Schwachstellen sowie die durchgeführten Maßnahmen dokumentiert. Diese Beobachtungen ergeben eine wichtige Erfahrungsquelle, die zu Materialeinsparung, zur Auswahl der besten Zulieferer oder zur Schulung neuer Wartungsmitarbeiter genutzt werden kann.

25.3 Messverfahren für thermografische Untersuchungen an elektrischen Anlagen

25.3.1 Richtiges Vorbereiten der Ausrüstung

Ein Wärmebild kann hohe Temperaturschwankungen aufzeigen:

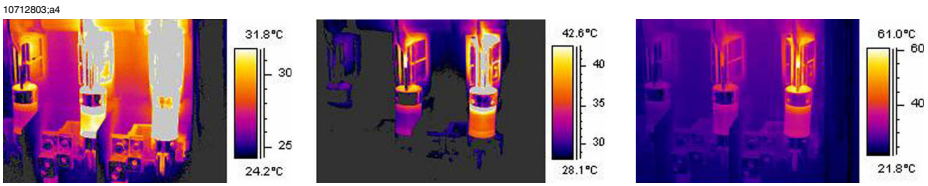


Abbildung 25.2 Temperaturschwankungen in einem Sicherungskasten

In den Bildern oben hat die Sicherung rechts eine maximale Temperatur von +61 °C, wobei die linke maximal +32 °C aufweist und die mittlere irgendwo dazwischen liegt. In allen drei Bildern weist nur eine Sicherung tatsächlich eine erhöhte Temperatur auf. Nur das erste zeigt dies jedoch deutlich und zwar auf Grund der höher eingestellten Temperaturspanne. Es hängt also immer davon ab, wie die Werte der Temperaturskala eingestellt werden.

25.3.2 Temperaturmessungen

Einige Kameras können heutzutage automatisch den höchsten Temperaturwert im Bild ausfindig machen. Das Bild unten zeigt, wie es aus der Sicht des Benutzers aussieht.

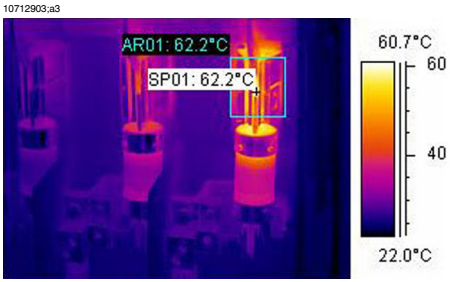


Abbildung 25.3 Ein Infrarotbild eines Sicherungskastens, das die maximale Temperatur anzeigt

Die maximale Temperatur im Bereich beträgt +62,2 °C. Der Messpunkt zeigt die genaue Stelle des Hotspots an. Das Bild kann problemlos im Kameraspeicher gespeichert werden.

Die korrekte Temperaturmessung hängt jedoch nicht nur von den Funktionen der Auswertungssoftware oder der Kamera ab. Es kann vorkommen, dass die tatsächliche Schwachstelle ein Verbindungsstück ist, das im Moment der Kameraaufnahme ver-

deckt und somit nicht zu sehen ist. Sie können somit Wärme messen, obwohl die ‘eigentlichen’ Hotspots verdeckt sind, da die Wärme über einige Entfernung hinweg geleitet wurde. Ein Beispiel zeigt das Bild unten.

10717603;a3

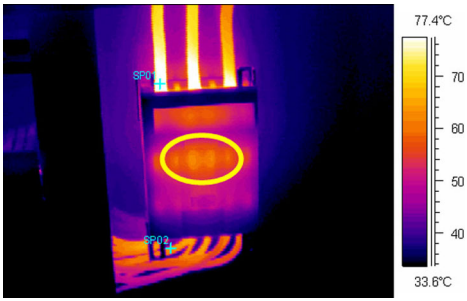


Abbildung 25.4 Ein verdeckter Hotspot in einem Kasten

Probieren Sie Aufnahmen aus verschiedenen Blickwinkeln, und stellen Sie sicher, dass der warme Bereich vollständig zu sehen ist und nicht hinter etwas verschwindet, das den heißesten Punkt verdeckt. Der heißeste Punkt in diesem Bild, den die Kamera ‘wahrnehmen’ kann ist +83 °C, wobei die Betriebstemperatur der Kabel unter dem Kasten nur +60 °C beträgt. Höchstwahrscheinlich befindet sich der eigentliche Hotspot im Inneren des Kastens (siehe gelb umrandeter Bereich). Die Schwachstelle weist eine Übertemperatur von +23 °C auf, der tatsächliche Defekt ist jedoch möglicherweise viel heißer.

Ein weiterer Grund für eine Fehleinschätzung der Temperatur eines Objektes ist eine schlechte Fokussierung. Es ist sehr wichtig, dass der Fokus auf den gefundenen Hotspot gerichtet ist. Siehe Beispiel unten.

10717403;a2

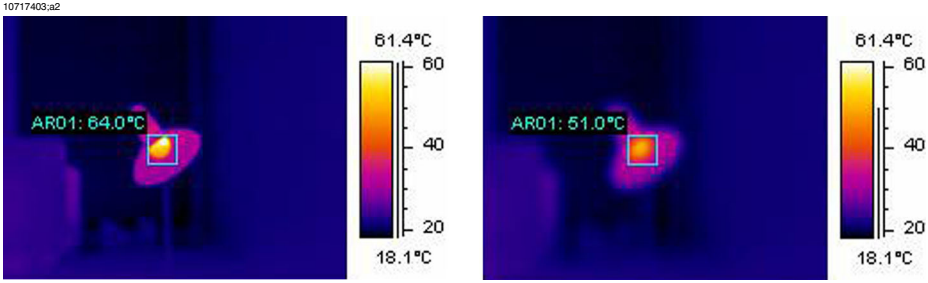


Abbildung 25.5 LINKS: Fokus auf den Hotspot **RECHTS:** Fokus nicht auf den Hotspot

Im linken Bild ist der Fokus auf die Glühlampe gerichtet. Seine Durchschnittstemperatur beträgt +64 °C. Im rechten Bild ist der Fokus nicht auf die Glühlampe fokussiert worden, was zu einer Durchschnittstemperatur von nur +51 °C führt.

25.3.3 Vergleichsmessung

Für thermografische Untersuchungen elektrischer Anlagen wird eine bestimmte Methode eingesetzt, die auf dem Vergleich verschiedener Objekte beruht, der sogenannten *Referenzmessung*. Dabei werden einfach die drei Phasen miteinander verglichen. Bei diesem Verfahren werden systematisch alle drei Phasen nebeneinander erfasst, um festzustellen, ob ein Punkt vom normalen Temperaturmuster abweicht.

Ein normales Temperaturmuster bedeutet, dass stromführende Komponenten eine Betriebstemperatur aufweisen, die in einer bestimmten Farbe (oder Grauton) angezeigt wird und normalerweise für alle drei Phasen unter symmetrischer Belastung identisch ist. Kleinere Unterschiede in Bezug auf die Farbe können im Stromverlauf auftreten, beispielsweise an der Kontaktstelle zweier verschiedener Materialien, an größer oder kleiner werdenden Anschlussflächen oder in Trennschaltern, in denen sich der Stromverlauf befindet.

Das Bild unten zeigt drei Sicherungen, die alle in etwa die gleiche Temperatur aufweisen. Die eingefügte Isotherme zeigt weniger als +2 °C Temperaturunterschied zwischen den Phasen an.

Wenn die Phasen asymmetrisch belastet werden, wird das Ergebnis meist in verschiedenen Farben dargestellt. Die Farbunterschiede stellen keine Überhitzung dar, da sie nicht nur in einem bestimmten Bereich, sondern in der gesamten Phase vorkommen.

10713203;a3

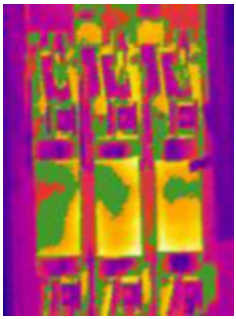


Abbildung 25.6 Eine Isotherme in einem Infrarotbild eines Sicherungskastens

Ein ‘echter’ Hotspot zeigt eine höhere Temperatur an, je näher Sie an die Hitzequelle kommen. Auf dem Bild unten sehen Sie eine Profillinie, die eine ständig zunehmende Temperatur anzeigt, die im Hotspot +93 °C erreicht hat.

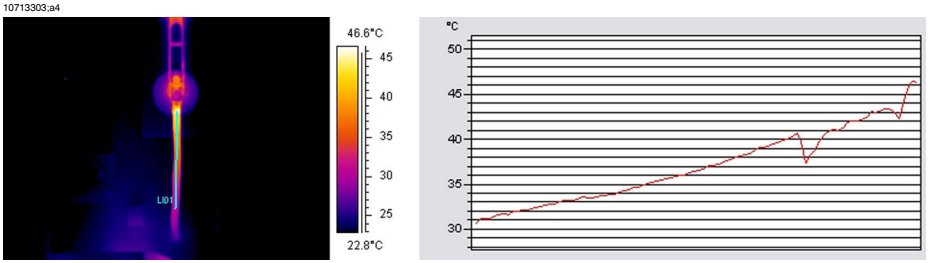


Abbildung 25.7 Eine Profillinie in einem Infrarotbild und ein Diagramm, die die zunehmende Temperatur darstellen

25.3.4 Normale Betriebstemperatur

Temperaturmessung mittels Thermografie gibt normalerweise die absolute Temperatur des Objektes an. Um genau zu bestimmen, ob die Komponente zu heiß ist, sollten Sie die Betriebstemperatur kennen, die unter Berücksichtigung der Belastung und der Umgebungstemperatur die normale Temperatur des Objektes ist.

Da mittels Direktmessung die absolute Temperatur ermittelt wird—, die ebenfalls berücksichtigt werden muss (da die meisten Komponenten eine Obergrenze für die absolute Temperatur haben)—, ist es notwendig, die voraussichtliche Betriebstemperatur auf Grund der Belastung und der Umgebungstemperatur zu ermitteln. Beachten Sie die folgenden Definitionen:

- Betriebstemperatur: die absolute Temperatur der Komponente. Sie ist von der aktuellen Belastung und der Umgebungstemperatur abhängig. Sie ist immer höher als die Umgebungstemperatur.
- Übertemperatur (Überhitzung): Der Temperaturunterschied zwischen einer ordnungsgemäß und einer fehlerhaft arbeitenden Komponente.

Die Übertemperatur wird aus dem Unterschied zwischen der Temperatur einer ‘normalen’ Komponente und der Temperatur der benachbarten Komponenten ermittelt. Es ist wichtig, die gleichen Punkte in den verschiedenen Phasen miteinander zu vergleichen.

Im Folgenden sehen Sie ein Beispielbild von Innenanlagen:

Abbildung 25.8 Ein Infrarotbild von elektrischen Innenanlagen (1).

Die beiden linken Phasen sind normal, wobei die rechte Phase eine deutliche Übertemperatur aufweist. Die Betriebstemperatur der linken Phase beträgt +68 °C, was bereits beachtlich ist. Bei der defekten Phase rechts liegt die Temperatur jedoch bei stolzen +86 °C. Es handelt sich dabei um eine Übertemperatur von +18 °C, das heißt eine Schwachstelle, die schell behoben werden muss.

Aus praktischen Gründen gilt die (normale, geschätzte) Betriebstemperatur einer Komponente in mindestens zwei von drei Phasen als die Temperatur der Komponente, vorausgesetzt sie arbeiten ordnungsgemäß. Im ‘Normalfall‘ haben alle drei Phasen dieselbe oder wenigstens annähernd dieselbe Temperatur. Die Betriebstemperatur von Außenbauteilen in Schaltanlagen oder Hochspannungsleitungen liegt normalerweise nur 1 °C oder 2 °C über der Lufttemperatur. In Innenschaltanlagen variieren die Betriebstemperaturen um einiges mehr.

Dies ist auch im unten stehenden Bild deutlich erkennbar. Hier weist die linke Phase eine Übertemperatur auf. Die Betriebstemperatur der zwei ‘kalten’ Phasen beträgt +66 °C. Die defekte Phase weist eine Temperatur von +127 °C auf. Der Defekt muss sofort behoben werden.

Abbildung 25.9 Ein Infrarotbild von elektrischen Innenanlagen (2).

25.3.5 Klassifizierung von Schwachstellen

Nachdem eine Schwachstelle ausfindig gemacht wurde, muss diese je nach Dringlichkeit sofort oder erst später behoben werden. Die folgenden Kriterien sollten bei der Auswahl der besten Vorgehensweise in Betracht gezogen werden:

- Last während der Messung
- Gleichmäßige oder wechselnde Last
- Lage der Schwachstelle in der elektrischen Anlage
- Zu erwartende zukünftige Lastsituation
- Wurde die Übertemperatur direkt am defekten Punkt gemessen oder resultiert sie aus geleiteter Wärme, die durch einen Defekt im System entstanden ist.

Übertemperaturen, die direkt am defekten Bauteil gemessen wurden, werden normalerweise in drei Gruppen eingeteilt, die sich auf 100 % der maximalen Last beziehen.

I	< 5 °C	Beginnende Überhitzung. Dieser Vorgang muss genau überwacht werden.
II	5 – 30 °C	Mittlere Überhitzung. Muss möglichst bald behoben werden (bedenken Sie die Lastsituation, bevor Sie eine Entscheidung treffen).
III	> 30 °C	Starke Überhitzung. Muss sofort behoben werden (bedenken Sie die Lastsituation, bevor Sie eine Entscheidung treffen).

25.4 Berichterstellung

Thermografische Untersuchungen an elektrischen Anlagen werden heutzutage ausnahmslos mit Hilfe von Berichterstellungsprogrammen dokumentiert und dargestellt. Diese von Hersteller zu Hersteller unterschiedlichen Programme sind normalerweise direkt auf die Kameras abgestimmt und ermöglichen somit ein schnelles und einfaches Darstellen der Daten.

Der Bericht unten wurde beispielsweise mit dem Programm FLIR Reporter erstellt. Es ist mit vielen Infrarotkameratypen von FLIR Systems kompatibel.

Ein professioneller Bericht wird meistens in folgende zwei Abschnitte unterteilt:

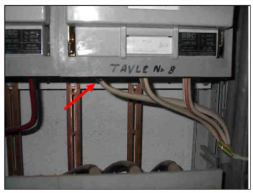
- Titelseiten, mit Angaben zur Untersuchung, wie beispielsweise:
  - Kundendaten, beispielsweise Name des Unternehmens und Ansprechpartner
  - Standort der Untersuchung: Adresse, Ort usw.
  - Datum der Untersuchung
  - Datum der Berichterstellung
  - Name des Thermografen
  - Unterschrift des Thermografen
  - Übersicht oder Inhaltsverzeichnis

- Seiten über die Untersuchung mit Infrarotbildern zum Dokumentieren und Analysieren von thermischen Eigenschaften oder Unregelmäßigkeiten.
  - Identifizierung des untersuchten Objektes:
    - Welches Objekt: Benennung, Name, Nummer usw.
    - Aufnahme
  - Infrarotbild Beachten Sie Folgendes, wenn Sie Infrarotbilder aufnehmen:
    - Optischer Fokus
    - Wärmeangleichung des Orts oder des Problems (Level und Span)
    - Ausrichtung: Richtiger Beobachtungsabstand und Betrachtungswinkel.
  - Kommentar
    - Wurde eine Unregelmäßigkeit festgestellt?
    - Wurde eine Reflexion festgestellt?
    - Verwenden Sie ein Messwerkzeug, beispielsweise Messpunkt, Fläche oder Isotherme, um das Problem zu bestimmen. Verwenden Sie möglichst ein einfaches Werkzeug. Ein Profildiagramm wird nur selten in elektronischen Berichten benötigt.

10713603;a3

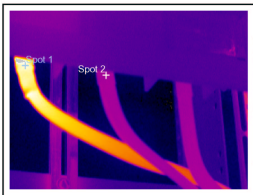
FLIR SYSTEMS	THERMOGRAPHY INSPECTION for FLIR Systems AB	Date: 2005-10-10 Sign. _____ Contract. : 1708

Photograph



Place	Building 1
Localization	Right panel, group 2
Equipment	Fuse
Model / type	BBC LHBN 250
Phase / ID	Supply for Panel 8
Room temperature °C	15
Status	**Over heated**

Thermogram



Temp. Spot 1			34 °C
Temp. Spot 2			17 °C
TEMPERATURE DIFF			**17 °C**
Phase	L1	L2	L3
Load (A)	45	47	47
Rated load	250		
Fault class	**2**		

Comment

Disconnect cable, clean contact surfaces. Check for connectivity between cable shoe and lead.
Replace any defective component. Assemble according to directions with correct torque.

Note that load is only 18%. Calculated temperature rise at 50% load would be approximately 104°C.
[T50=(T1-T2)*(125/45)^1.6+T2]

Corrected

Measure taken:_____	Date:_____
Sign:_____	Sign.:_____

Side 1

Abbildung 25.10 Beispiel eines Berichts

25.5 Verschiedene Typen von Hotspots in elektrischen Anlagen

25.5.1 Reflexionen

Die Thermografie-Kamera nimmt jegliche Strahlung wahr, die durch das Objektiv eintritt. Sie nimmt nicht nur die Strahlung vom zu untersuchenden Objekt auf, sondern auch von anderen Quellen, die durch das Zielobjekt reflektiert werden. Meistens verhalten sich elektrische Komponenten wie ein Spiegel für die Infrarotstrahlung, selbst wenn sie für das Auge nicht sichtbar sind. Reine Metallteile glänzen besonders im Gegensatz zu angestrichenen und mit Plastik oder Gummi isolierten Teilen. Im Bild unten lässt sich deutlich das Spiegelbild des Thermografen erkennen. Hierbei handelt es sich natürlich nicht um einen Hotspot im Objekt. Zum Herausfinden, ob es sich um eine Reflexion handelt oder nicht, ist ein Positionswechsel eine gute Möglichkeit. Schauen Sie sich das Ziel aus einem anderen Winkel an und beobachten Sie, ob es sich um einen ‘Hotspot’ handelt. Wenn er sich bewegt, wenn Sie sich bewegen, handelt es sich um eine Reflexion.

Es ist nicht möglich, die Temperatur von Reflexionen zu messen. Das Objekt in den Bildern unten hat gestrichene Bereiche, die sich gut zum Messen der Temperatur eignen. Das Material ist aus Kupfer, das ein guter Wärmeleiter ist. Das bedeutet, dass nur geringe Temperaturunterschiede auf der Oberfläche vorkommen.

10717503;a2

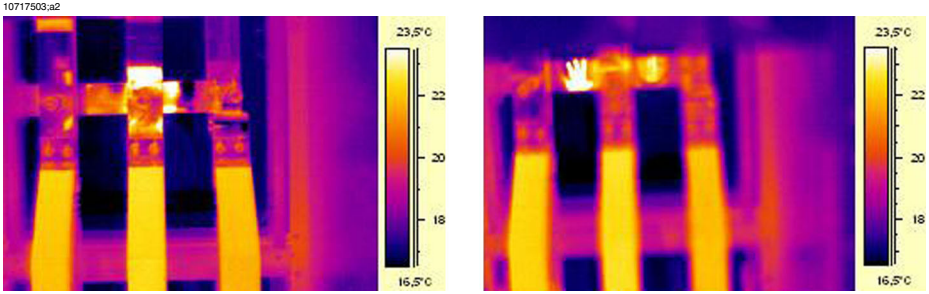


Abbildung 25.11 Reflexionen in einem Objekt

25.5.2 Erwärmung durch Sonneneinstrahlung

Die Oberfläche einer Komponente mit hohem Emissionsgrad, beispielsweise ein Trennschalter, kann an einem heißen Sommertag durch die Sonneneinstrahlung eine beträchtliche Temperatur erreichen. Das Bild zeigt einen Trennschalter, der durch die Sonne erhitzt wurde.

10713803;a3

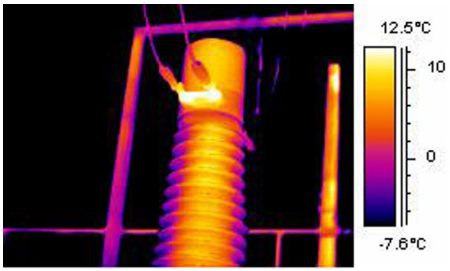


Abbildung 25.12 Infrarotbild eines Trennschalters

25.5.3 Induktive Erwärmung

10713903;a3

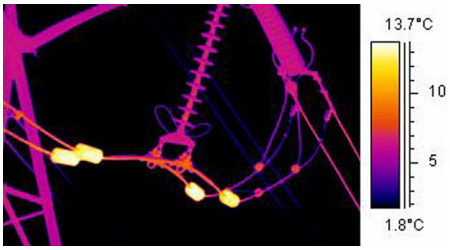


Abbildung 25.13 Infrarotbild von erwärmten stabilisierenden Gewichten

Wirbelströme können im Stromverlauf einen Hotspot verursachen. Bei Starkstrom und großer Nähe zu anderen Metallen kann es zu Bränden kommen. Diese Art von Erwärmung findet in magnetischen Materialien um den Stromverlauf herum statt, beispielsweise in Bodenplatten aus Metall für Durchführungsisolatoren. Das Bild oben zeigt stabilisierende Gewichte, durch die Starkstrom fließt. Diese Metallgewichte aus leicht magnetischem Material leiten keinen Strom. Sie sind jedoch den wechselnden Magnetfeldern ausgesetzt, die das Gewicht letztendlich aufwärmen. Die Überhitzung in dem Bild beträgt weniger als +5 °C. Dies muss jedoch nicht immer der Fall sein.

25.5.4 Lastunterschiede

3-Phasensysteme sind in Elektrizitätswerken üblich. Bei der Suche nach überhitzten Stellen können die drei Phasen, beispielsweise Kabel, Trennschalter und Isolatoren, problemlos direkt miteinander verglichen werden. Eine gleichmäßig auf die Phasen verteilte Last müsste ein einheitliches Temperaturmuster für alle drei Phasen ergeben. Eine Schwachstelle kann an Stellen vermutet werden, an denen eine Phase stark von den anderen beiden abweicht. Sie müssen jedoch sicherstellen, dass die Last gleichmäßig verteilt ist. Dies können Sie mit Hilfe fester Strommessgeräte oder eines Zangenstrommessgeräts (bis 600 A) feststellen.

10714003;a3

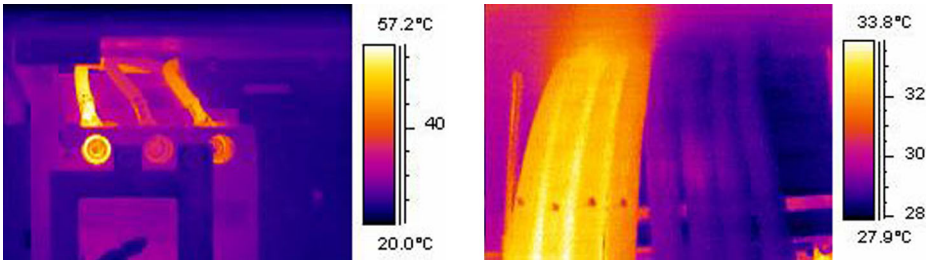


Abbildung 25.14 Beispiele von Infrarotbildern von Lastunterschieden

Das linke Bild zeigt drei nebeneinander liegende Kabel. Die Abstände zwischen den Kabeln sind so groß, dass von einer Wärmeisolierung ausgegangen werden kann. Das Kabel in der Mitte ist kälter als die anderen. Sofern nicht zwei Phasen defekt und überhitzt sind, ist dies ein typisches Beispiel für eine asymmetrische Belastung. Die Temperatur verteilt sich gleichmäßig in den Kabeln, was eher auf einen lastabhängigen Temperaturanstieg als auf eine defekte Verbindung hindeutet.

Das rechte Bild zeigt zwei Kabelbündel mit sehr unterschiedlichen Belastungen. Das linke Bündel hingegen weist so gut wie keine Last auf. Die Temperatur der Kabel, die belastet sind, liegt um etwa 5 °C höher als die, nicht belasteter Kabel. In diesen Beispielen sind keine Schwachstellen vorhanden.

25.5.5 Unterschiedliche Kühlungsbedingungen

10714103;a3

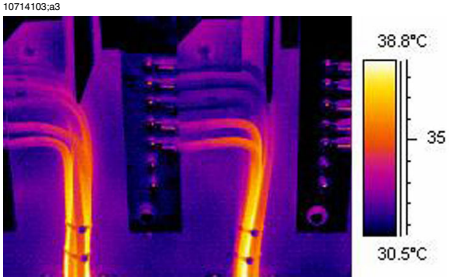


Abbildung 25.15 Infrarotbild von gebündelten Kabeln

Bei gebündelten Kabeln kann es vorkommen, dass auf Grund der schlechten Kühlung in der Mitte des Bündels die Kabel extrem hohe Temperaturen erreichen. Siehe Bild unten.

Die Kabel rechts im Bild weisen in der Nähe der Schrauben keine Überhitzung auf. Im vertikalen Teil des Bündels werden die Kabel jedoch fest zusammengehalten, die Kühlung der Kabel ist schlecht, die Wärme wird mittels Konvektion nicht abtransportiert und die Kabel sind auffallend heißer. Die Temperatur liegt dort etwa 5 °C über der Temperatur der besser gekühlten Bereiche der Kabel.

25.5.6 Beständigkeitsunterschiede

Überhitzung kann viele Ursachen haben. Einige häufige Ursachen sind unten beschrieben.

Leichter Druckkontakt entsteht bei Verbindungsstücken oder durch Materialabnutzung, beispielsweise durch nachlassende Federkraft, abgenutzte Gewinde von Muttern und Schrauben oder wenn bei der Montage zu viel Kraft angewendet wurde. Mit zunehmender Belastung und steigenden Temperaturen wird die Dehngrenze des Materials überschritten und die Spannung lässt nach.

Das Bild links zeigt einen schlechten Kontakt auf Grund einer locker sitzenden Schraube. Da der schlechte Kontakt nur einen kleinen Teil betrifft, wird die Überhitzung nur in einem kleinen Bereich verursacht, von dem aus die Wärme gleichmäßig auf das Verbindungskabel verteilt wird. Beachten Sie den geringeren Emissionsgrad der Schraube; normalerweise hat sie einen hohen Emissionsgrad, durch den sie etwas kühler als das isolierte Kabel wirkt.

Das Bild rechts zeigt ein weiteres Beispiel für eine Überhitzung, die diesmal auf eine locker sitzende Verbindung zurückzuführen ist. Es handelt sich um eine Außenverbindung, die demzufolge dem kühlenden Effekt des Windes ausgesetzt ist. Es ist sehr wahrscheinlich, dass die Überhitzung eine höhere Temperatur angezeigt hätte, wenn es sich um eine Innenverbindung handeln würde.

10714203;a3

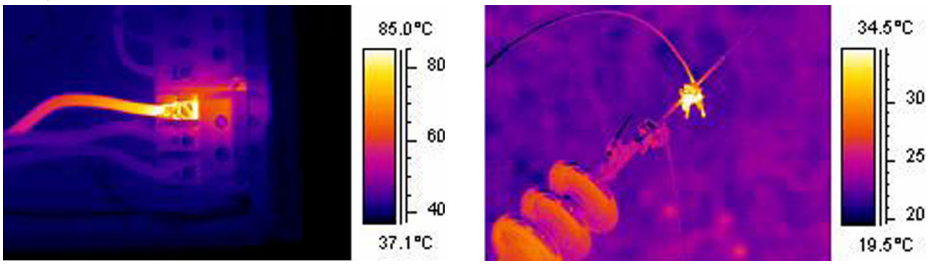


Abbildung 25.16 LINKS: Ein Infrarotbild mit einem schlechten Kontakt auf Grund einer lockeren Schraube **RECHTS:** Eine lockere Außenverbindung, die dem kühlenden Effekt des Windes ausgesetzt ist

25.5.7 Überhitzung eines Bereichs auf Grund einer Schwachstelle in einem anderen Bereich

Eine Überhitzung kann manchmal auch in einer intakten Komponente vorkommen. Der Grund dafür liegt darin, dass sich zwei Stromleiter die Belastung teilen. Einer der Stromleiter hat einen erhöhten Widerstand, der andere jedoch nicht. Dadurch trägt die defekte Komponente eine geringere Belastung, während die neuere Komponente einer höheren Belastung ausgesetzt ist, die möglicherweise zu hoch ist und die zu der erhöhten Temperatur führt. Siehe Bild.

10714303;a3

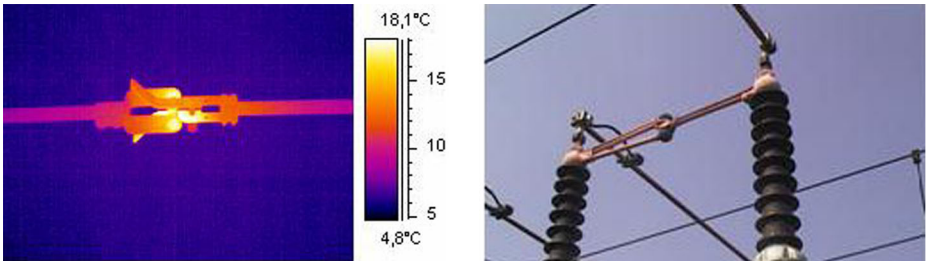


Abbildung 25.17 Überhitzung in einem Trennschalter

Die Überhitzung dieses Trennschalters wurde möglicherweise durch einen schlechten Kontakt im angrenzenden Weichenfinger des Trenners verursacht. Der weiter entfernte Weichenfinger führt mehr Strom und wird heißer. Die Komponente im Infrarotbild und in der Aufnahme ist nicht dieselbe, wenn auch sehr ähnlich.

25.6 Störfaktoren bei der thermografischen Untersuchung an elektrischen Anlagen

Während thermografischer Untersuchungen verschiedener elektrischer Anlagen beeinflussen Störfaktoren wie Wind, Entfernung zum Objekt, Regen oder Schnee oft die Messergebnisse.

25.6.1 Wind

Bei einer Untersuchung, die draußen durchgeführt wird, muss der kühlende Effekt des Windes berücksichtigt werden. Eine Überhitzung, die bei einer Windgeschwindigkeit von 5 m/s (10 Knoten) gemessen wird, wird bei einer Windgeschwindigkeit von 1 m/s (2 Knoten) etwa doppelt so hoch sein. Eine Übertemperatur, die bei einer Windgeschwindigkeit von 8 m/s (16 Knoten) gemessen wird, wird bei einer Windgeschwindigkeit von 1 m/s (2 Knoten) etwa 2,5-mal so hoch sein. Dieser Korrekturfaktor, der auf empirischen Messungen beruht, ist normalerweise bis 8 m/s (16 Knoten) anwendbar.

Es gibt jedoch Fälle, in denen Sie auch Untersuchungen durchführen müssen, wenn der Wind stärker als 8 m/s (16 Knoten) weht. Es gibt viele windige Orte auf der Welt, beispielsweise Inseln, Berge usw. Es ist jedoch wichtig zu wissen, dass die gefundenen überhitzten Komponenten bei geringerer Windstärke eine erheblich höhere Temperatur aufgewiesen hätten. Der empirische Korrekturfaktor kann verzeichnet werden.

Windgeschwindigkeit in m/s	Windgeschwindigkeit in Knoten	Korrekturfaktor
1	2	1
2	4	1,36
3	6	1,64
4	8	1,86
5	10	2,06
6	12	2,23
7	14	2.40
8	16	2,54

Die gemessene Überhitzung multipliziert mit dem Korrekturfaktor ergibt die Übertemperatur ohne Wind, die 1 m/s (2 Knoten) beträgt.

25.6.2 Regen und Schnee

Regen und Schnee wirken sich ebenfalls kühlend auf elektrische Anlagen aus. Thermografische Untersuchungen können bei leichtem Schneefall mit trockenem Schnee und leichtem Nieselregen noch durchgeführt werden. Unter diesen Bedingungen können noch zuverlässige Ergebnisse erzielt werden. Die Bildqualität verschlechtert sich jedoch bei starkem Schneefall oder Regen und zuverlässige Messergebnisse sind nicht mehr möglich. Das liegt hauptsächlich daran, dass die Infrarotstrahlen keinen starken Schneefall oder Regen durchdringen können und es wird somit eher die Temperatur der Schneeflocken oder Regentropfen gemessen.

25.6.3 Abstand zum Objekt

Dieses Bild wurde mit einem Abstand von 20 m von der defekten Verbindung aufgenommen. Der Abstand wurde fälschlicherweise auf 1 m eingestellt und es wurde eine Temperatur von +37,9 °C gemessen. Das rechte Bild zeigt den Messwert, nachdem der Abstand auf 20 m eingestellt wurde und die Temperatur +38,8 °C beträgt. Der Unterschied ist nicht beachtlich, kann jedoch dazu führen, dass die Schwachstelle ernster eingestuft wird als sie ist. Deshalb darf der Abstand zum Objekt nie außer Acht gelassen werden.

10714403;a3

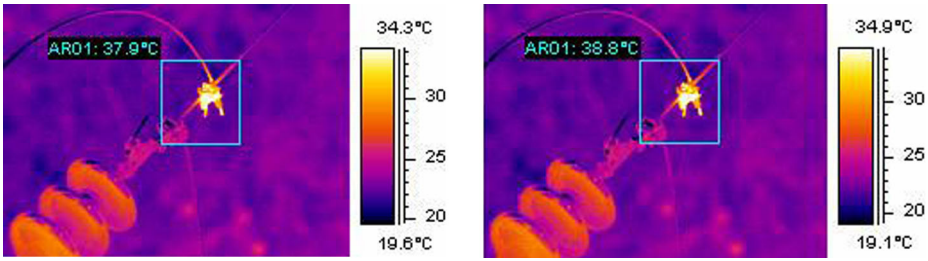


Abbildung 25.18 LINKS: Falsche Einstellung des Abstands **RECHTS:** Richtige Einstellung des Abstands

Die Bilder unten zeigen die Temperaturmesswerte eines Schwarzkörpers bei +85 °C mit zunehmendem Abstand.

10714503;a3

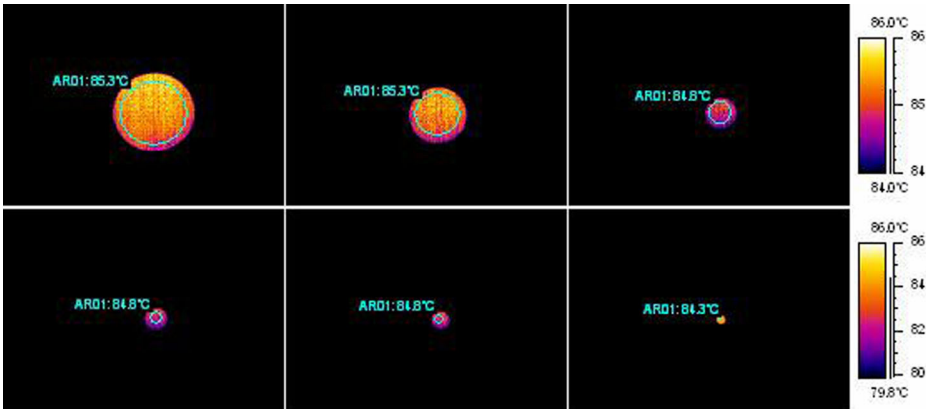


Abbildung 25.19 Temperaturmesswerte eines Schwarzkörpers bei +85 °C mit zunehmendem Abstand

Die gemessenen Durchschnittstemperaturen eines Schwarzkörpers bei +85 °C betragen von links nach rechts +85,3 °C, +85,3 °C, +84,8 °C, +84,8 °C, +84,8 °C und +84,3 °C. Die Thermogramme wurden mit einem 12-Grad-Objektiv aufgenommen. Die Abstände betragen 1, 2, 3, 4, 5 und 10 Meter. Die Korrektur der Entfernung wurde akribisch genau eingestellt und funktioniert, da das Objekt groß genug für ein genaues Messen ist.

25.6.4 Objektgröße

Die zweite Bilderreihe unten zeigt dasselbe, jedoch mit einen normalen 24-Grad-Objektiv aufgenommen. Hier betragen die gemessenen Durchschnittstemperaturen des Schwarzkörpers bei +85 °C: +84,2 °C, +83,7 °C, +83,3 °C, +83,3 °C, +83,4 °C and +78,4 °C.

Der letzte Wert (+78,4 °C) ist die maximale Temperatur, da es nicht möglich war einen Kreis innerhalb des jetzt sehr kleinen Bildes des Schwarzkörpers zu positionieren. Es ist nicht möglich korrekte Messwerte zu erhalten, wenn das Objekt zu klein ist. Der Abstand wurde ordnungsgemäß auf 10 m eingestellt.

10714603;a3

Abbildung 25.20 Temperaturmesswerte eines Schwarzkörpers bei +85 °C mit zunehmendem Abstand (24°-Objektiv)

Der Grund dafür ist, dass es eine kleinste Objektgröße gibt, bei der noch korrekte Temperaturmessungen vorgenommen werden können. Die kleinste Größe wird dem Benutzer in allen FLIR Systems-Kameras angezeigt. Das Bild unten zeigt den Bildsucher des Kameramodells PM695. Das Fadenkreuz des Messpunktes ist in der Mitte geöffnet. Dies ist im Bild rechts noch deutlicher zu erkennen. Das Objekt muss größer sein als diese Öffnung. Sonst kann Strahlung von viel kälteren Nachbarobjekten in die Messung mit einfließen und zu einem niedrigeren Ergebnis führen. Im Falle des runden Objektes oben, das viel heißer ist als die es umgebenden Objekte, ist der Temperaturmesswert zu niedrig.

10714703;a3

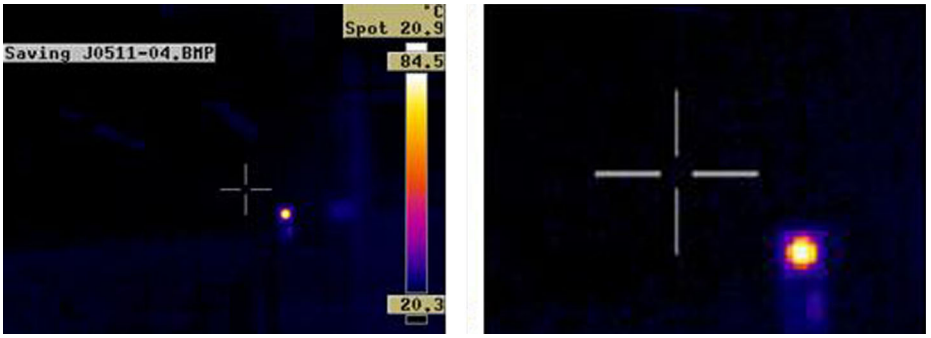


Abbildung 25.21 Bild im Sucher einer ThermaCAM 695

Dies liegt zum einen an optischen Fehlern und zum anderen an der Größe des Detektorelements. Es ist für alle Infrarotkameras normal und kann nicht verhindert werden.

25.7 Praktische Hinweise für den Thermografen

Beim praktischen Arbeiten mit der Kamera werden Sie viele Details kennenlernen, die Ihnen die Arbeit erleichtern. Fünf davon stellen wir Ihnen hier vor.

25.7.1 Von der Kälte in die Wärme

Sie waren mit der Kamera bei +5 °C draußen. Sie müssen die Untersuchung drinnen weiter führen. Wenn Sie Brillenträger sind, sind Sie daran gewöhnt das Kondenswasser abwischen zu müssen, um wieder richtig sehen zu können. Dasselbe gilt für die Kamera. Um eine genaue Messung durchführen zu können, sollten Sie warten, bis die Kamera warm genug ist und das Kondenswasser verdunsten kann. Somit kann sich auch das interne Temperaturausgleichsystem an die veränderten Bedingungen anpassen.

25.7.2 Regenschauer

Bei Regen sollten Sie die Untersuchung nicht durchführen, da das Wasser die Oberflächentemperatur des zu untersuchenden Objektes stark verändert. Es kann jedoch vorkommen, dass Sie die Kamera auch bei Regenschauern verwenden müssen. Schützen Sie in diesem Fall Ihre Kamera mit einer einfachen transparenten Polyäthylen-Plastiktüte. Die durch die Plastiktüte hervorgerufene Abschwächung kann behoben werden, indem der Abstand zum Objekt solange angepasst wird, bis die Temperatur den Wert erreicht hat, den sie ohne Plastiktüte hatte. Einige Kameramodelle haben einen eigenen externen Eingang für die **optische Transmission**.

25.7.3 Emissionsgrad

Sie müssen den Emissionsgrad des zu messenden Materials bestimmen. Meistens ist der Wert nicht in Tabellen zu finden. Verwenden Sie die schwarze Farbe Nextel Black Velvet. Streichen Sie einen kleinen Teil des Materials, mit dem Sie arbeiten. Der Emissionsgrad der optischen Farbe beträgt normalerweise 0,94. Bedenken Sie, dass das Objekt eine andere (normalerweise höhere Temperatur) als die Umgebung aufweisen muss. Je größer die Differenz desto genauer sind die Berechnungen des Emissionsgrades. Die Differenz sollte mindesten 20 °C betragen. Bedenken Sie, dass es auch noch andere Farben gibt, die sehr hohen Temperaturen bis +800 °C Stand halten können. Der Emissionsgrad kann jedoch geringer sein als bei schwarzer Farbe.

Manchmal können Sie das zu messende Objekt nicht streichen. In diesem Fall können Sie ein Klebeband verwenden. Ein dünnes Klebeband, für das Sie vorher den Emissionsgrad bestimmt haben, funktioniert in den meisten Fällen und Sie können es danach leicht wieder entfernen, ohne das zu untersuchende Objekt zu beschädigen. Beachten Sie, dass einige Klebebänder halbtransparent sind und sich deshalb für diesen Zweck nicht eignen. Empfehlenswert ist ein kältebeständiges Elektroisolierband von Scotch für die Außenverwendung.

25.7.4 Reflektierte scheinbare Temperatur

Sie befinden sich in einer Messsituation, in der die Messung durch verschiedene heiße Stellen beeinflusst wird. Sie müssen den richtigen Wert für die reflektierte scheinbare Temperatur kennen, um ihn in die Kamera einzugeben und somit die bestmögliche Korrektur zu erhalten. Gehen Sie folgendermaßen vor: Setzen Sie den Emissionsgrad auf 1,0. Stellen Sie das Kameraobjektiv auf Naheinstellung, und speichern Sie ein Bild, indem Sie die Kamera in die entgegengesetzte Richtung des Objektes richten. Bestimmen Sie mit dem Bereich oder den Isothermen den wahrscheinlichsten Durchschnittswert des Bildes, und geben Sie diesen Wert als reflektierte scheinbare Temperatur ein.

25.7.5 Objekt ist zu weit entfernt

Sind Sie im Zweifel, ob Ihre Kamera bei dem tatsächlichen Abstand genau misst? Als Faustregel für Ihr Objektiv gilt die Multiplikation des Sofort-Gesichtfeldes (IFOV) mit 3. (IFOV ist das Objektdetail, das von einem einzelnen Detektorelement gesehen wird.) Beispiel: 25 Grad entsprechen in etwa 437 mrad. Falls Ihre Kamera ein 120 × 120-Pixel-Bild hat, beträgt das IFOV 437/120 = 3,6 mrad (3,6 mm/m) und das Verhältnis der Punktgröße ist ungefähr 1000/(3 × 3,6) = 92:1. Das bedeutet, dass bei einem Abstand von 9,2 m Ihr Ziel mindestens 0,1 m oder 100 mm groß sein muss. Um ganz sicher zu gehen, sollten Sie nicht weiter als 9 m entfernt sein. Zwischen 7 – 8 m erzielen Sie richtige Ergebnisse.

26 Informationen zu FLIR Systems

1978 gegründet, hat FLIR Systems auf dem Gebiet der Hochleistungs-Infrarotbildsysteme Pionierarbeit geleistet und ist weltweit führend bei Entwicklung, Herstellung und Vertrieb von Wärmebildsystemen für vielfältige Anwendungsbereiche in Handel und Industrie sowie für den Regierungssektor. Heute umfasst FLIR Systems fünf große Unternehmen, die seit 1958 herausragende Erfolge in der Infrarottechnologie verzeichnen: die schwedische AGEMA Infrared Systems (vormals AGA Infrared Systems), die drei US-amerikanischen Unternehmen Indigo Systems, FSI und Inframetrics sowie das französische Unternehmen Cedip. Extech Instruments wurde im November 2007 von FLIR Systems erworben.

10722703;a2

Abbildung 26.1 LINKS: Modell 661 der Thermovision® aus dem Jahr 1969. Die Kamera wog ca. 25 kg, das Oszilloskop 20 kg und das Stativ 15 kg. Für den Betrieb wurden darüber hinaus ein 220-Volt-Generator und ein 10-Liter-Gefäß mit flüssigem Stickstoff benötigt. Links neben dem Oszilloskop ist der Polaroid-Aufsatz (6 kg) zu erkennen. **RECHTS:** Die FLIR i7 aus dem Jahr 2009. Gewicht: 0,34 kg einschließlich Akku.

Das Unternehmen hat weltweit mehr als 100.000 Infrarotkameras für die verschiedensten Anwendungsgebiete verkauft, wie beispielsweise für die vorbeugende Instandhaltung, F & E, nicht-invasive Tests, Prozesskontrolle und Automatisierung u. v. a.

FLIR Systems besitzt drei Produktionsstätten in den USA (Portland, Boston und Santa Barbara) und eine in Schweden (Stockholm). Seit dem Jahr 2007 gibt es einen weiteren Produktionsstandort in Tallinn in Estland. Niederlassungen mit Direktvertrieb in Belgien, Brasilien, China, Frankreich, Deutschland, Großbritannien, Hongkong,

Italien, Japan, Korea, Schweden und den USA sowie ein weltweites Netzwerk aus Vertretern und Vertriebshändlern sind Ansprechpartner für unsere Kunden aus aller Welt.

FLIR Systems übernimmt eine Vorreiterrolle bei der Entwicklung neuer Infrarottechnologien. Wir greifen der Marktnachfrage vor, indem wir vorhandene Kameras verbessern und neue entwickeln. Das Unternehmen hat bei Produktdesign und Entwicklung stets eine führende Rolle eingenommen, wie beispielsweise bei der Markteinführung der ersten batteriebetriebenen tragbaren Kamera für Industrieüberwachungen und der ersten Infrarotkamera ohne Kühlsystem.

FLIR Systems stellt alle zentralen mechanischen und elektronischen Komponenten der Kamerasysteme selbst her. Von Design und Herstellung der Detektoren über Objektive und Systemelektronik bis hin zu Funktionstests und Kalibrierung werden alle Produktionsschritte von unseren Ingenieuren durchgeführt und überwacht. Die genauen Kenntnisse dieses Fachpersonals gewährleisten die Genauigkeit und Zuverlässigkeit aller zentraler Komponenten, aus denen Ihre Infrarotkamera besteht.

26.1 Mehr als nur eine Infrarotkamera

Wir von FLIR Systems haben erkannt, dass es nicht ausreicht, nur die besten Infrarotkameras herzustellen. Wir möchten allen Benutzern unserer Infrarotkameras ein produktiveres Arbeiten ermöglichen, indem wir leistungsfähige Kameras mit entsprechender Software kombinieren. Wir entwickeln Software, die genau auf die Bedürfnisse von F & E, vorbeugender Instandhaltung und Prozessüberwachung zugeschnitten ist. Ein Großteil der Software steht in mehreren Sprachen zur Verfügung.

Wir bieten für alle Infrarotkameras ein umfassendes Sortiment an Zubehörteilen, so dass Sie Ihre Ausrüstung auch an anspruchsvolle Einsätze anpassen können.

26.2 Weitere Informationen

Obwohl sich unsere Kameras durch hohe Benutzerfreundlichkeit auszeichnen, gehört zur Thermografie mehr als nur das Wissen, wie man eine Kamera bedient. Daher hat FLIR Systems das Infrared Training Center (ITC) gegründet, einen eigenständigen Geschäftsbereich, der zertifizierte Schulungen anbietet. Durch die Teilnahme an ITC-Kursen können Sie sich praxisorientiert weiterbilden.

Die Mitglieder des ITC unterstützen Sie auch bei allen Fragen und Problemen, die beim Umsetzen der Theorie in die Praxis auftreten können.

26.3 Support für Kunden

FLIR Systems bietet ein weltweites Service-Netzwerk, um den unterbrechungsfreien Betrieb Ihrer Kamera zu gewährleisten. Bei Problemen mit Ihrer Kamera verfügen die lokalen Service-Zentren über die entsprechende Ausstattung und Erfahrung, um die

Probleme innerhalb kürzester Zeit zu lösen. Sie müssen Ihre Kamera also nicht rund um den Globus schicken oder mit einem Mitarbeiter sprechen, der nicht Ihre Sprache spricht.

26.4 Bilder

10401303;a1

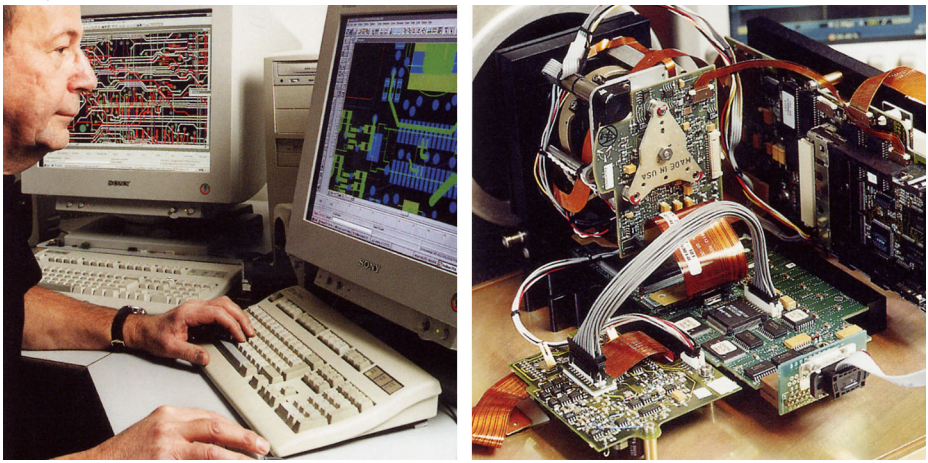


Abbildung 26.2 LINKS: Entwicklung der Systemelektronik **RECHTS:** FPA-Detektortest

10401403;a1

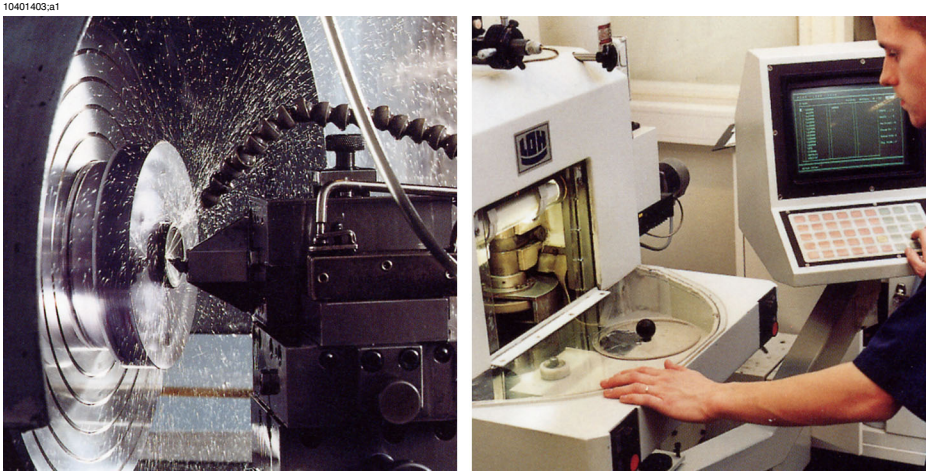


Abbildung 26.3 LINKS: Diamantdrehmaschine **RECHTS:** Schleifen eines Objektivs

10401503;a1

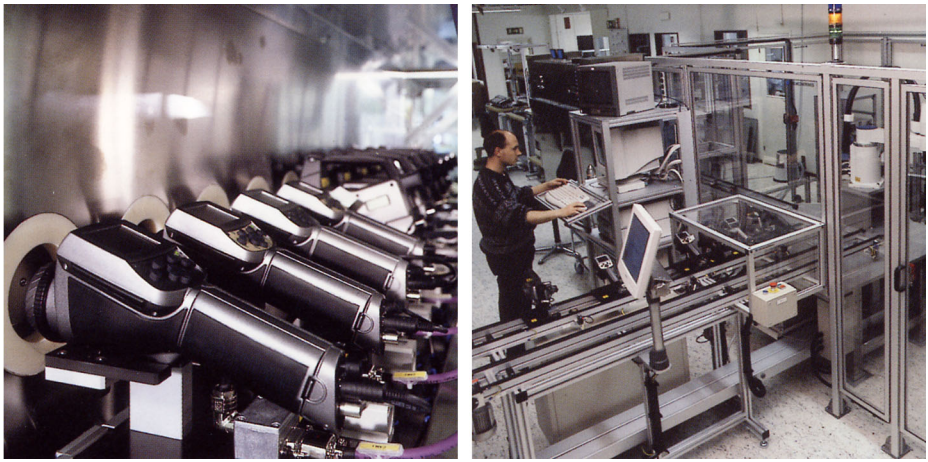


Abbildung 26.4 LINKS: Testen von Infrarotkameras in der Klimakammer; **RECHTS:** Roboter zum Testen und Kalibrieren von Kameras

27 Glossar

Begriff oder Ausdruck	Erläuterung
Absorption (Absorptionsgrad)	Das Verhältnis der von einem Objekt absorbierten Strahlung zur auftreffenden Strahlung. Eine Zahl zwischen 0 und 1.
Angenommene Transmission (geschätzte Transmission)	Ein von einem Benutzer angegebener Wert für die Transmission, der einen berechneten Wert ersetzt.
Atmosphäre	Die Gase, die sich zwischen dem Messobjekt und der Kamera befinden, in der Regel handelt es sich um Luft.
Auto. Farben	Das Infrarotbild zeigt eine unregelmäßige Farbverteilung an, mit der kalte und warme Objekte gleichzeitig angezeigt werden.
Automatische Einstellung	Eine Funktion, mit der die Kamera eine interne Bildkorrektur durchführt.
Berechnete Transmission	Ein aus der Temperatur, der relativen Luftfeuchtigkeit und dem Abstand zum Objekt errechneter Wert für die Transmission.
Bildkorrektur (intern/extern)	Eine Funktion zum Ausgleich der unterschiedlichen Empfindlichkeit in verschiedenen Teilen von Live-Bildern sowie zur Stabilisierung der Kamera.
Doppelisotherme	Eine Isotherme mit zwei Farbbändern an Stelle von einem.
Emission (Emissionsgrad)	Die von einem Objekt ausgehende Strahlung im Vergleich zu der eines Schwarzen Körpers. Eine Zahl zwischen 0 und 1.
Externe Optik	Zusätzliche Objektive, Filter, Wärmeschilde usw., die zwischen der Kamera und dem Messobjekt platziert werden können.
Farbtemperatur	Die Temperatur, bei der die Farbe eines Schwarzen Körpers einer bestimmten Farbe entspricht.
Filter	Material, das nur für bestimmte Infrarot-Wellenlängen durchlässig ist.
FPA	Focal Plane Array: Ein Infrarotdetektortyp.
Grauer Körper	Ein Objekt, das einen bestimmten Anteil der Energiemenge eines Schwarzen Körpers für jede Wellenlänge abgibt.
Hohlraumstrahler	Ein flaschenförmiger Strahler mit absorbierenden Innenwänden, der über den "Flaschenhals" einsehbar ist.
IFOV	Momentaner Sehwinkel: Ein Maß für die geometrische Auflösung einer Infrarotkamera.
Infrarot	Unsichtbare Strahlung mit einer Wellenlänge von 2 – 13 μm.
IR	Infrarot

Begriff oder Ausdruck	Erläuterung
Isotherme	Eine Funktion, mit der die Teile eines Bildes hervorgehoben werden, die über, unter oder zwischen einem oder mehreren Temperaturintervallen liegen.
Isothermer Hohlraum	Ein flaschenförmiger Strahler mit einheitlicher Temperatur, der über den "Flaschenhals" einsehbar ist.
Laser LocatIR	Eine elektrische Lichtquelle an der Kamera, die Laserstrahlung in Form eines dünnen, gebündelten Strahls abgibt, der auf bestimmte Teile des Messobjekts vor der Kamera gerichtet ist.
Laserpointer	Eine elektrische Lichtquelle an der Kamera, die Laserstrahlung in Form eines dünnen, gebündelten Strahls abgibt, der auf bestimmte Teile des Messobjekts vor der Kamera gerichtet ist.
Level	Der Zentralwert der Temperaturskala, wird in der Regel als Signalwert ausgedrückt.
Manuelle Einstellung	Eine Methode zur Anpassung des Bildes durch manuelles Ändern bestimmter Parameter.
Messbereich	Der aktuelle Temperaturmessbereich einer Infrarotkamera. Kameras können über mehrere Bereiche verfügen. Sie werden mit Hilfe von zwei Schwarzkörpertemperaturwerten angegeben, die als Grenzwerte für die aktuelle Kalibrierung dienen.
NETD	Rauschäquivalente Temperaturdifferenz. Ein Maß für das Bildrauschen einer Infrarotkamera.
Objektparameter	Eine Reihe von Werten, mit denen die Bedingungen, unter denen die Messungen durchgeführt werden, sowie das Messobjekt selbst beschrieben werden (z. B. Emission, reflektierte scheinbare Temperatur, Abstand).
Objektsignal	Ein unkalibrierter Wert, der sich auf die Strahlungsmenge bezieht, die die Kamera von dem Messobjekt empfängt.
Palette	Die zur Anzeige eines Infrarotbildes verwendeten Farben.
Pixel	Synonym für *Bildelement*. Ein einzelner Bildpunkt in einem Bild.
Rauschen	Unerwünschte geringfügige Störung im Infrarotbild.
Referenztemperatur	Eine Temperatur, mit der die regulären Messwerte verglichen werden können.
Reflexionsgrad (Reflexionsvermögen)	Das Verhältnis der von einem Objekt reflektierten Strahlung zur auftreffenden Strahlung. Eine Zahl zwischen 0 und 1.
Relative Luftfeuchtigkeit	Die relative Luftfeuchtigkeit ist das prozentuale Verhältnis zwischen der momentanen Wasserdampfmasse in der Luft und der maximalen Masse, die unter Sättigungsbedingungen enthalten sein kann.

Begriff oder Ausdruck	Erläuterung
Sättigungsfarbe	Bereiche, deren Temperaturen außerhalb der aktuellen Einstellungen für Level/Span liegen, werden mit den Sättigungsfarben dargestellt. Die Sättigungsfarben umfassen eine Farbe für die Überschreitung und eine für die Unterschreitung der Werte. Hinzu kommt eine dritte Sättigungsfarbe (Rot), die den gesamten Sättigungsbereich markiert und darauf hinweist, dass der Bereich wahrscheinlich geändert werden sollte.
Schwarzer Körper	Objekt mit einem Reflexionsgrad von Null. Jegliche Strahlung ist auf seine eigene Temperatur zurückzuführen.
Schwarzkörper-Strahler	Ein Infrarotstrahler mit den Eigenschaften eines Schwarzen Körpers, der zum Kalibrieren von Infrarotkameras eingesetzt wird.
Sichtfeld	Sehwinkel (Field of view): Der horizontale Betrachtungswinkel eines Infrarotobjektivs.
Span	Das Intervall der Temperaturskala, wird in der Regel als Signalwert ausgedrückt.
Spektrale spezifische Ausstrahlung	Von einem Objekt abgegebene Energiemenge bezogen auf Zeit, Fläche und Wellenlänge ($W/m^2/\mu m$).
Spezifische Ausstrahlung	Von einem Objekt abgegebene Energiemenge pro Zeit- und Flächeneinheit (W/m^2).
Strahler	Ein Infrarotstrahler.
Strahlung	Von einem Objekt abgegebene Energiemenge bezogen auf Zeit, Fläche und Raumwinkel ($W/m^2/sr$).
Strahlung	Vorgang, bei dem elektromagnetische Energie durch einen Festkörper oder ein Gas abgegeben wird.
Strahlungsfluss	Von einem Objekt abgegebene Energiemenge pro Zeiteinheit (W).
Stufenlose Anpassung	Eine Funktion, über die das Bild eingestellt wird. Diese Funktion passt die Helligkeit und den Kontrast fortlaufend dem Bildinhalt entsprechend an.
Tageslicht	Bezeichnet den Videomodus einer Infrarotkamera im Gegensatz zum normalen thermografischen Modus. Im Videomodus zeichnet die Kamera herkömmliche Videobilder auf, während sie im Infrarotmodus Wärmebilder aufzeichnet.
Temperaturdifferenz	Ein Wert, der durch die Subtraktion zweier Temperaturwerte berechnet wird.

Begriff oder Ausdruck	Erläuterung
Temperaturmessbereich	Der aktuelle Temperaturmessbereich einer Infrarotkamera. Kameras können über mehrere Bereiche verfügen. Sie werden mit Hilfe von zwei Schwarzkörpertemperaturwerten angegeben, die als Grenzwerte für die aktuelle Kalibrierung dienen.
Temperaturskala	Die aktuelle Anzeigeart eines Infrarotbildes. Wird mit Hilfe von zwei Temperaturwerten angegeben, die die Farben abgrenzen.
Thermogramm	Ein Infrarotbild.
Transmission (Transmissionsgrad)	Gase und Festkörper sind verschieden durchlässig. Die Transmission gibt die Menge der Infrarotstrahlung an, die sie durchlassen. Eine Zahl zwischen 0 und 1.
Transparente Isotherme	Eine Isotherme, bei der an Stelle der hervorgehobenen Teile des Bildes eine lineare Farbverteilung angezeigt wird.
Umgebung	Objekte und Gase, die Strahlung an das Messobjekt abgeben.
Wärmeleitung	Der Vorgang, bei dem sich Wärme in einem Material ausbreitet.
Wärmeübergang (Konvektion)	Konvektion ist ein Wärmeübergangsmodus, bei dem eine Flüssigkeit durch Gravität oder eine andere Kraft in Bewegung gebracht wird und so Wärme von einem Ort auf den anderen überträgt.

28 Thermografische Messtechniken

28.1 Einleitung

Eine Infrarotkamera misst die von einem Objekt abgegebene Infrarotstrahlung und bildet sie ab. Da die Infrarotstrahlung eine Funktion der Oberflächentemperatur eines Objekts ist, kann die Kamera diese Temperatur berechnen und darstellen.

Die von der Kamera gemessene Strahlung hängt jedoch nicht nur von der Temperatur des Objekts, sondern auch vom Emissionsgrad ab. Auch aus der Umgebung des Objekts stammt Strahlung, die im Objekt reflektiert wird. Die Strahlung des Objekts und die reflektierte Strahlung werden auch von der Absorption der Atmosphäre beeinflusst.

Um Temperaturen messen zu können, müssen die Auswirkungen verschiedener Strahlungsquellen kompensiert werden. Dies wird von der Kamera automatisch durchgeführt. Der Kamera müssen jedoch die folgenden Objektparameter übermittelt werden:

- Der Emissionsgrad des Objekts
- Die reflektierte scheinbare Temperatur
- Der Abstand zwischen Objekt und Kamera
- Die relative Luftfeuchtigkeit
- Die Atmosphärentemperatur

28.2 Emissionsgrad

Der Objektparameter, bei dem eine richtige Einstellung am wichtigsten ist, ist der Emissionsgrad. Dieser Wert gibt an, wie viel Strahlung das Objekt im Vergleich zu einem völlig schwarzen Objekt abgibt.

In der Regel gelten für Objektwerkstoffe und Oberflächenbeschichtungen Emissionsgrade von etwa 0,1 bis 0,95. Der Emissionsgrad einer hochpolierten Oberfläche (Spiegel) liegt unter 0,1, während eine oxidierte oder gestrichene Oberfläche einen höheren Emissionsgrad aufweist. Ölfarbe hat unabhängig von der Farbe im sichtbaren Spektrum im Infrarotbereich einen Emissionsgrad von über 0,9. Der Emissionsgrad der menschlichen Haut liegt zwischen 0,97 und 0,98.

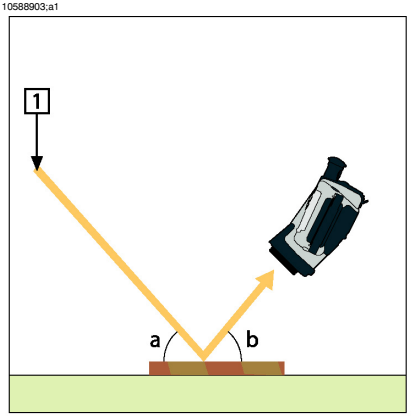
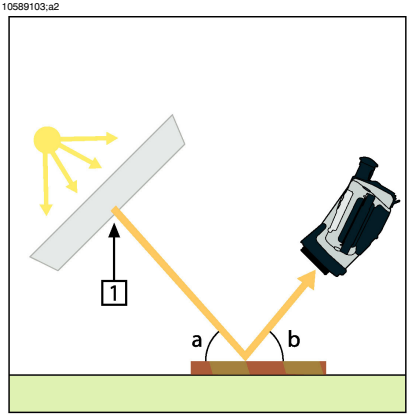
Nicht oxidierte Metalle stellen einen Extremfall für perfekte Opazität und hohe Reflexivität dar, die sich mit der Wellenlänge kaum verändert. Daher ist der Emissionsgrad von Metallen niedrig und steigt lediglich mit der Temperatur an. Bei Nichtmetallen ist der Emissionsgrad im Allgemeinen höher und nimmt mit sinkender Temperatur ab.

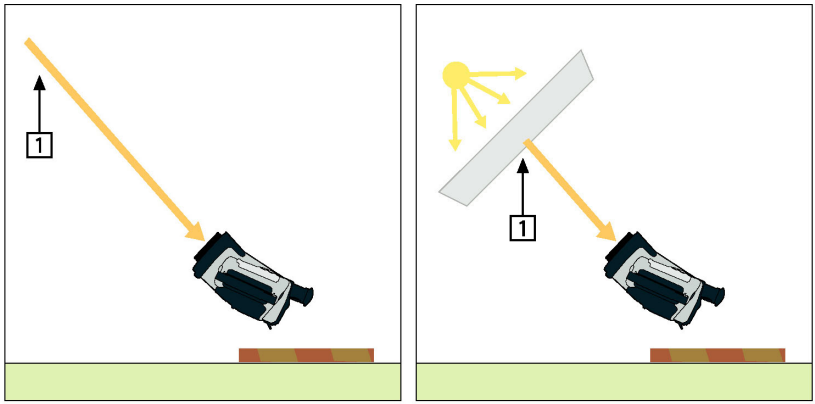
28.2.1 Ermitteln des Emissionsgrades eines Objekts

28.2.1.1 Schritt 1: Bestimmen der reflektierten Strahlungstemperatur

Die reflektierte scheinbare Temperatur können Sie mit einer der folgenden Methoden bestimmen:

28.2.1.1.1 Methode 1: Direkte Methode

1	Suchen Sie nach möglichen Reflektionsquellen und beachten Sie hierbei Folgendes: Einfallswinkel = Reflektionswinkel (a = b). 10588903;a1  **Abbildung 28.1** 1 = Reflektionsquelle
2	Wenn es sich bei der Reflektionsquelle um einen Punkt handelt, verdecken Sie sie mit einem Stück Karton. 10589103;a2  **Abbildung 28.2** 1 = Reflektionsquelle

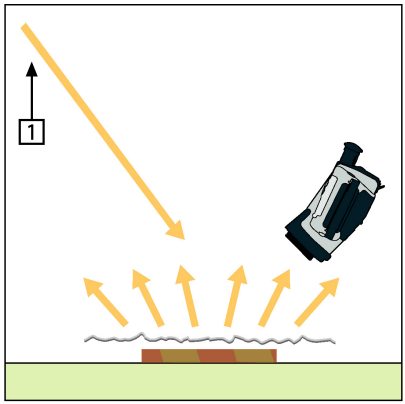
3	Messen Sie die Intensität der von der Reflektionsquelle ausgehenden Strahlung (= scheinbare Temperatur) unter Verwendung der folgenden Einstellungen: ▪ Emissionsgrad: 1,0 ▪ D_{obj}: 0 Sie können die Intensität der Strahlung mit einer der folgenden beiden Methoden ermitteln: 10589003;a2  **Abbildung 28.3** 1 = Reflektionsquelle

Hinweis: Von der Verwendung eines Thermoelements zur Ermittlung der reflektierten scheinbaren Temperatur wird abgeraten. Dies hat zwei wichtige Gründe:

- Ein Thermoelement misst nicht die Strahlungsintensität.
- Die Verwendung eines Thermoelements erfordert einen sehr guten thermischen Oberflächenkontakt. Dies wird in der Regel durch Kleben und Abdecken des Sensors mit einem thermischen Isolator erzielt.

28.2.1.1.2 Methode 2: Reflektormethode

1	Knüllen Sie ein großes Stück Aluminiumfolie zusammen.
2	Streichen Sie die Aluminiumfolie wieder glatt und befestigen Sie sie an einem Stück Karton mit derselben Größe.
3	Platzieren Sie den Karton vor dem Objekt, an dem Sie die Messung durchführen möchten. Die Seite, an der die Aluminiumfolie befestigt ist, muss zur Kamera zeigen.
4	Stellen Sie als Emissionsgrad 1,0 ein.

5	Messen Sie die scheinbare Temperatur der Aluminiumfolie und notieren Sie sie. 10727003;a2  **Abbildung 28.4** Messen der scheinbaren Temperatur der Aluminiumfolie

28.2.1.2 Schritt 2: Ermitteln des Emissionsgrades

1	Wählen Sie die Stelle aus, an der das Messobjekt platziert werden soll.
2	Ermitteln Sie die reflektierte Strahlungstemperatur und stellen Sie sie ein. Gehen Sie hierbei wie oben angegeben vor.
3	Kleben Sie ein Stück Isolierband mit bekanntem, hohem Emissionsgrad auf das Objekt.
4	Erwärmen Sie das Objekt auf mindestens 20 K über Raumtemperatur. Die Erwärmung muss gleichmäßig erfolgen.
5	Stellen Sie den Fokus ein, verwenden Sie die automatische Abgleichfunktion der Kamera und erzeugen Sie ein Standbild.
6	Stellen Sie **Level** und **Span** ein, um optimale Bildhelligkeit und Kontrast zu erzielen.
7	Stellen Sie den Emissionsgrad des Isolierbandes ein (in der Regel 0,97).
8	Messen Sie die Temperatur des Bandes mit Hilfe einer der folgenden Messfunktionen: ▪ **Isotherme** (Hiermit können Sie feststellen, wie hoch die Temperatur ist und wie gleichmäßig das Messobjekt erwärmt wurde.) ▪ **Messpunkt** (einfacher) ▪ **Rechteck Mitte** (besonders geeignet für Oberflächen mit variierendem Emissionsgrad).
9	Notieren Sie die Temperatur.
10	Verschieben Sie Ihre Messfunktion zur Objektoberfläche.
11	Ändern Sie die Emissionsgradeinstellung, bis Sie dieselbe Temperatur wie bei Ihrer letzten Messung ablesen.
12	Notieren Sie den Emissionsgrad.

Hinweis:

- Vermeiden Sie eine erzwungene Konvektion.
- Suchen Sie nach einer Umgebung mit stabiler Temperatur, in der keine punktförmigen Reflektionen entstehen können.
- Verwenden Sie hochwertiges, nicht transparentes Band mit einem bekannten, hohen Emissionsgrad.
- Bei dieser Methode wird davon ausgegangen, dass die Temperatur des Bandes und die der Objektoberfläche gleich sind. Ist dies nicht der Fall, liefert Ihre Emissionsgradmessung falsche Ergebnisse.

28.3 Reflektierte scheinbare Temperatur

Dieser Parameter dient als Ausgleich für die Strahlung, die im Objekt reflektiert wird. Wenn der Emissionsgrad niedrig ist und die Objekttemperatur sich relativ stark von der reflektierten Temperatur unterscheidet, muss die reflektierte scheinbare Temperatur unbedingt korrekt eingestellt und kompensiert werden.

28.4 Abstand

Der Abstand ist die Entfernung zwischen dem Objekt und der Vorderseite des Kameraobjektivs. Dieser Parameter dient zur Kompensation folgender Gegebenheiten:

- Die vom Messobjekt abgegebene Strahlung wird von der Atmosphäre zwischen Objekt und Kamera absorbiert.
- Die Atmosphärenstrahlung an sich wird von der Kamera erkannt.

28.5 Relative Luftfeuchtigkeit

Die Kamera kann auch die Tatsache kompensieren, dass die Übertragung zudem von der relativen Luftfeuchtigkeit der Atmosphäre abhängt. Dazu stellen Sie die relative Luftfeuchtigkeit auf den richtigen Wert ein. Für kurze Abstände und normale Luftfeuchtigkeit können Sie für die relative Luftfeuchtigkeit normalerweise den Standardwert von 50 % beibehalten.

28.6 Weitere Parameter

Darüber hinaus können Sie mit einigen Kameras und Analyseprogrammen von FLIR Systems folgende Parameter kompensieren:

- Atmosphärentemperatur, *d. h.* die Temperatur der Atmosphäre zwischen Kamera und Ziel.
- Temperatur externe Optik, *d. h.* die Temperatur der vor der Kamera verwendeten externen Objektive und Fenster.
- Transmission von externer Optik – *d. h.* die Übertragung von externen Objektiven oder Fenstern, die vor der Kamera verwendet werden.

29 Geschichte der Infrarot-Technologie

Vor nicht ganz 200 Jahren war der infrarote Teil des elektromagnetischen Spektrums noch gänzlich unbekannt. Die ursprüngliche Bedeutung des infraroten Spektrums, auch häufig als Infrarot bezeichnet, als Form der Wärmestrahlung war zur Zeit seiner Entdeckung durch Herschel im Jahr 1800 möglicherweise augenfälliger als heute.

10398703;a1

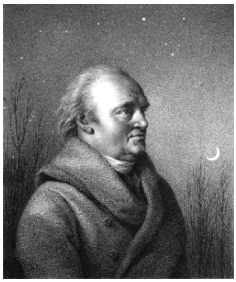


Abbildung 29.1 Sir William Herschel (1738 – 1822)

Die Entdeckung war ein Zufall während der Suche nach einem neuen optischen Material. Sir William Herschel, Hofastronom bei König Georg III von England und bereits auf Grund seiner Entdeckung des Planeten Uranus berühmt, suchte nach einem optischen Filtermaterial zur Reduzierung der Helligkeit des Sonnenabbilds in Teleskopen bei Beobachtungen der Sonne. Beim Testen verschiedener Proben aus farbigem Glas, bei denen die Reduzierung der Helligkeit ähnlich war, fand er heraus, dass einige Proben sehr wenig, andere allerdings so viel Sonnenwärme durchließen, dass er bereits nach wenigen Sekunden der Beobachtung eine Augenschädigung riskierte.

Sehr bald war Herschel von der Notwendigkeit eines systematischen Experiments überzeugt. Dabei setzte er sich das Ziel ein Material zu finden, mit dem sowohl die gewünschte Reduzierung der Helligkeit als auch die maximale Verringerung der Wärme erzielt werden konnte. Er begann sein Experiment mit der Wiederholung des Prismenexperiments von Newton, achtete dabei jedoch mehr auf den Wärmeeffekt als auf die visuelle Verteilung der Intensität im Spektrum. Zuerst färbte er die Spitze eines empfindlichen Quecksilberthermometers mit schwarzer Tinte und testete damit als Messeinrichtung die Erwärmung der verschiedenen Farben des Spektrums, die sich auf einem Tisch bildeten, indem Sonnenlicht durch ein Glasprisma geleitet wurde. Andere Thermometer, die sich außerhalb der Sonneneinstrahlung befanden, dienten zur Kontrolle.

Beim langsamen Bewegen des schwarz gefärbten Thermometers durch die Farben des Spektrums zeigte sich, dass die Temperatur von Violett nach Rot kontinuierlich anstieg. Dies war nicht ganz unerwartet, da der italienische Forscher Landriani in einem ähnlichen Experiment im Jahr 1777 den gleichen Effekt beobachtet hatte. Herschel erkannte jedoch als erster, dass es einen Punkt geben muss, an dem die Erwärmung einen Höhepunkt erreicht, und dass bei Messungen am sichtbaren Teil des Spektrums dieser Punkt nicht gefunden wurde.

10398903;a1

Abbildung 29.2 Marsilio Landriani (1746 – 1815)

Durch das Bewegen des Thermometers in den dunklen Bereich hinter dem roten Ende des Spektrums bestätigte Herschel, dass die Erwärmung weiter zunahm. Er fand den Punkt der maximalen Erwärmung schließlich weit hinter dem roten Bereich. Heute wird dieser Bereich "infrarote Wellenlänge" genannt.

Herschel bezeichnete diesen neuen Teil des elektromagnetischen Spektrums als "thermometrisches Spektrum". Die Abstrahlung selbst nannte er manchmal "dunkle Wärme" oder einfach "die unsichtbaren Strahlen". Entgegen der vorherrschenden Meinung stammt der Begriff "infrarot" nicht von Herschel. Dieser Begriff tauchte gedruckt etwa 75 Jahre später auf, und es ist immer noch unklar, wer ihn überhaupt einführte.

Die Verwendung von Glas in den Prismen bei Herschels ursprünglichem Experiment führte zu einigen kontroversen Diskussionen mit seinen Zeitgenossen über die tatsächliche Existenz der infraroten Wellenlängen. Bei dem Versuch, seine Arbeit zu bestätigen, verwendeten verschiedene Forscher wahllos unterschiedliche Glasarten, was zu unterschiedlichen Lichtdurchlässigkeiten im Infrarotbereich führte. Durch seine späteren Experimente war sich Herschel der begrenzten Lichtdurchlässigkeit von Glas bezüglich der neu entdeckten thermischen Abstrahlung bewusst und schloss daraus, dass optische Systeme, die den Infrarotbereich nutzen wollten, ausschließlich reflektive Elemente (d. h. ebene und gekrümmte Spiegel) verwenden konnten. Glücklicherweise galt dies nur bis 1830, als der italienische Forscher Melloni entdeckte, dass natürliches Steinsalz (NaCl), das in großen natürlichen Kristallen zur Verwendung

in Linsen und Prismen vorhanden war, äußerst durchlässig für den Infrarotbereich ist. Nach dieser Entdeckung wurde Steinsalz für die nächsten hundert Jahre das optische Hauptmaterial für Infrarot, bis in den dreißiger Jahren des 20. Jahrhunderts Kristalle synthetisch gezüchtet werden konnten.

10399103;a1

Abbildung 29.3 Macedonio Melloni (1798 – 1854)

Bis 1829 wurden ausschließlich Thermometer zum Messen der Abstrahlung verwendet. In diesem Jahr erfand Nobili das Thermoelement. (Das Thermometer von Herschel hatte einen Messbereich bis 0,2 °C (0,036 °F), spätere Modelle konnten bis 0,05 °C (0,09 °F) messen.) Melloni gelang ein Durchbruch, als er mehrere Thermoelemente in Serie schaltete und so die erste Thermosäule schuf. Das neue Gerät konnte Wärmeabstrahlung mindestens 40-mal empfindlicher messen als das beste zu dieser Zeit vorhandene Thermometer. So konnte es beispielsweise die Wärme einer drei Meter entfernten Person messen.

Das erste sogenannte "Wärmebild" wurde 1840 möglich, als Ergebnis der Arbeit von Sir John Herschel, Sohn des Entdeckers des Infrarotbereichs und selbst berühmter Astronom. Basierend auf der unterschiedlichen Verdampfung eines dünnen Ölfilms, wenn dieser einem Wärmemuster ausgesetzt wird, wurde das thermische Bild durch Licht, das sich auf dem Ölfilm unterschiedlich spiegelt, für das Auge sichtbar. Sir John gelang es auch, einen einfachen Abzug eines thermischen Bildes auf Papier zu erhalten, der "Thermograph" genannt wurde.

10399003;a2

Abbildung 29.4 Samuel P. Langley (1834 – 1906)

Nach und nach wurde die Empfindlichkeit der Infrarotdetektoren verbessert. Ein weiterer Durchbruch gelang Langley im Jahr 1880 mit der Erfindung des Bolometers. Es handelte sich dabei um einen dünnen geschwärzten Platinstreifen, der in einem Arm einer Wheatstone-Brückenschaltung angeschlossen war und der infraroten Strahlung ausgesetzt sowie an ein empfindliches Galvanometer gekoppelt wurde. Damit konnte angeblich die Wärme einer Kuh gemessen werden, die 400 Meter entfernt war.

Ein englischer Wissenschaftler, Sir James Dewar, war der Erste, der bei Forschungen mit niedrigen Temperaturen flüssige Gase als Kühlmittel verwendete (wie beispielsweise flüssigen Stickstoff mit einer Temperatur von -196 °C). 1892 erfand er einen einzigartigen isolierenden Vakuumbehälter, in dem flüssige Gase tagelang aufbewahrt werden konnten. Die herkömmliche Thermosflasche zur Aufbewahrung heißer und kalter Getränke beruht auf dieser Erfindung.

Zwischen 1900 und 1920 "entdeckten" die Erfinder in aller Welt den Infrarotbereich. Viele Geräte zum Erkennen von Personen, Artillerie, Flugzeugen, Schiffen und sogar Eisbergen wurden patentiert. Die ersten modernen Überwachungssysteme wurden im Ersten Weltkrieg entwickelt, als beide Seiten Programme zur Erforschung des militärischen Nutzens von Infrarotstrahlung durchführten. Dazu gehörten experimentelle Systeme in Bezug auf das Eindringen/Entdecken von Feinden, die Messung von Temperaturen über große Entfernungen, sichere Kommunikation und die Lenkung "fliegender Torpedos". Ein Infrarotsuchsystem, das in dieser Zeit getestet wurde, konnte ein Flugzeug im Anflug in einer Entfernung von 1,5 km oder eine Person, die mehr als 300 Meter entfernt war, erkennen.

Die empfindlichsten Systeme dieser Zeit beruhten alle auf Variationen der Bolometer-Idee. Zwischen den beiden Weltkriegen wurden jedoch zwei neue, revolutionäre Infrarotdetektoren entwickelt: der Bildwandler und der Photonendetektor. Zunächst schenkte das Militär dem Bildwandler die größte Aufmerksamkeit, da der Beobachter

mit diesem Gerät zum ersten Mal in der Geschichte im Dunkeln sehen konnte. Die Empfindlichkeit des Bildwandlers war jedoch auf die Nah-Infrarot-Wellenlängen beschränkt und die interessantesten militärischen Ziele (z. B. feindliche Soldaten) mussten mit Infrarot-Suchstrahlern ausgeleuchtet werden. Da hierbei das Risiko bestand, dass ein feindlicher Beobachter mit ähnlicher Ausrüstung die Position des Beobachters herausfand, schwand das militärische Interesse am Bildwandler.

Die taktischen militärischen Nachteile sogenannter aktiver (d. h. mit Suchstrahlern ausgestatteter) thermografischer Systeme gaben nach dem zweiten Weltkrieg den Anstoß zu umfangreichen geheimen Infrarot-Forschungsprogrammen des Militärs, wobei die Möglichkeiten "passiver" Systeme (ohne Suchstrahler) auf Grundlage des äußerst empfindlichen Photonendetektors erforscht wurden. In dieser Zeit wurde der Status der Infrarot-Technologie auf Grund von Geheimhaltungsvorschriften des Militärs nicht öffentlich bekannt gegeben. Erst Mitte der fünfziger Jahre wurde die Geheimhaltungspflicht gelockert und seitdem sind angemessene thermografische Geräte auch für die zivile Forschung und Industrie erhältlich.

30 Theorie der Thermografie

30.1 Einleitung

Das Gebiet der Infrarotstrahlung und die damit zusammenhängende Technik der Thermografie ist vielen Benutzern einer Infrarotkamera noch nicht vertraut. In diesem Abschnitt wird die der Thermografie zugrunde liegende Theorie behandelt.

30.2 Das elektromagnetische Spektrum

Das elektromagnetische Spektrum ist willkürlich in verschiedene Wellenlängenbereiche unterteilt, die als *Bänder* bezeichnet werden und sich jeweils durch die Methode zum Erzeugen und Messen von Strahlung unterscheiden. Es gibt keinen grundlegenden Unterschied zwischen der Strahlung in den verschiedenen Bändern des elektromagnetischen Spektrums. Für sie gelten dieselben Gesetze und die einzigen Unterschiede beruhen auf Unterschieden in der Wellenlänge.

10067803;a1

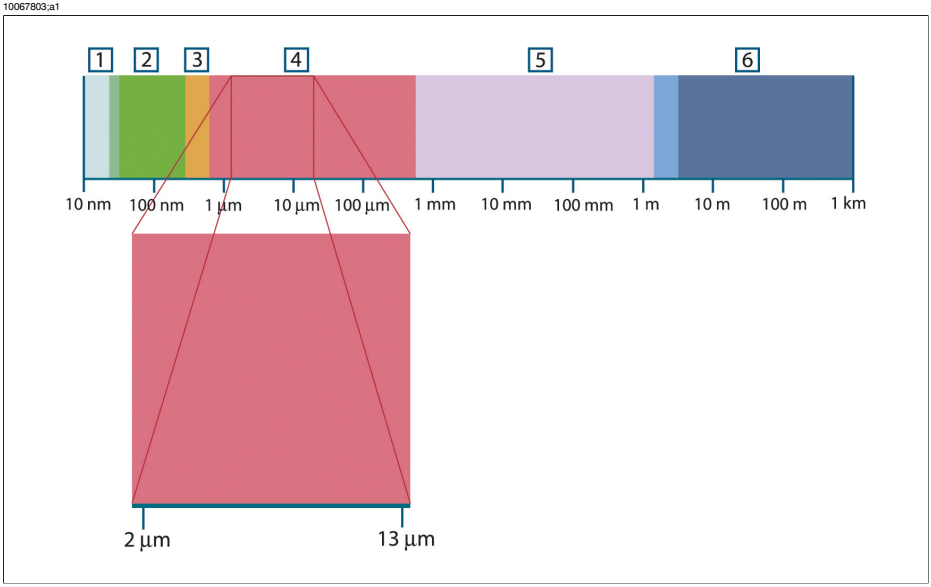


Abbildung 30.1 Das elektromagnetische Spektrum. **1:** Röntgenstrahlen; **2:** UV-Strahlung; **3:** Sichtbares Licht; **4:** IR-Strahlung; **5:** Mikrowellen; **6:** Radiowellen

Die Thermografie nutzt das Infrarotspektralband aus. Am kurzwelligen Ende des Spektrums grenzt sie an das sichtbare Licht, bei Dunkelrot. Am langwelligen Ende des Spektrums geht sie in die Mikrowellen (Millimeterbereich) über.

Das Infrarotband ist weiter untergliedert in vier kleinere Bänder, deren Grenzen ebenfalls willkürlich gewählt sind. Sie umfassen: das *nahe Infrarot (NIR)* (0,75 – 3 µm), das *mittlere Infrarot (MIR)* (3 – 6 µm), das *ferne Infrarot (FIR)* (6 – 15 µm) und das *extreme Infrarot* (15 – 100 µm). Zwar sind die Wellenlängen in µm (Mikrometern) angegeben, doch werden zum Messen der Wellenlänge in diesem Spektralbereich oft noch andere Einheiten verwendet, *z. B.* Nanometer (nm) und Ångström (Å).

Das Verhältnis zwischen den verschiedenen Wellenlängenmaßeinheiten lautet wie folgt:

$$10\ 000\ \text{Å} = 1\ 000\ \text{nm} = 1\ \mu = 1\ \mu\text{m}$$

30.3 Strahlung des schwarzen Körpers

Ein schwarzer Körper ist definiert als ein Objekt, das jegliche einfallende Strahlung aller Wellenlängen absorbiert. Die offensichtlich falsche Bezeichnung *schwarz* im Zusammenhang mit einem Objekt, das Strahlung aussendet, wird durch das kirchhoffsche Gesetz (nach *Gustav Robert Kirchhoff*, 1824 – 1887) erklärt, das besagt, dass ein Körper, der in der Lage ist, die gesamte Strahlung beliebiger Wellenlängen zu absorbieren, ebenso in der Lage ist, Strahlung abzugeben.

10398803;a1

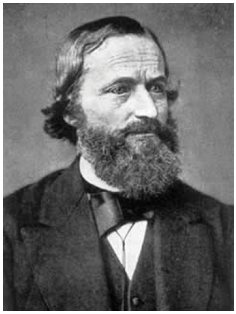


Abbildung 30.2 Gustav Robert Kirchhoff (1824 – 1887)

Der Aufbau eines schwarzen Körpers ist im Prinzip sehr einfach. Die Strahlungseigenschaften einer Öffnung in einem isothermen Behälter, die aus einem undurchsichtigen absorbierenden Material besteht, repräsentieren fast genau die Eigenschaften eines schwarzen Körpers. Eine praktische Anwendung des Prinzips auf die Konstruktion eines perfekten Strahlungsabsorbers besteht in einem Kasten, der mit Ausnahme einer Öffnung an einer Seite lichtundurchlässig ist. Jede Strahlung, die in das Loch gelangt, wird gestreut und durch wiederholte Reflexionen absorbiert, so dass nur ein unendlich kleiner Bruchteil entweichen kann. Die Schwärze, die an der Öffnung erzielt wird, entspricht fast einem schwarzen Körper und ist für alle Wellenlängen nahezu perfekt.

Durch Ergänzen eines solchen isothermen Behälters mit einer geeigneten Heizquelle erhält man einen so genannten *Hohlraumstrahler*. Ein auf eine gleichmäßige Temperatur aufgeheizter isothermer Kasten erzeugt die Strahlung eines schwarzen Körpers. Dessen Eigenschaften werden allein durch die Temperatur der Aushöhlung bestimmt. Solche Hohlraumstrahler werden gemeinhin als Strahlungsquellen in Temperaturreferenzstandards in Labors zur Kalibrierung thermografischer Instrumente, z. B. der FLIR Systems-Kamera, verwendet.

Wenn die Temperatur der Strahlung des schwarzen Körpers auf über 525 °C steigt, wird die Quelle langsam sichtbar, so dass sie für das Auge nicht mehr schwarz erscheint. Dies ist die beginnende Rottemperatur der Strahlungsquelle, die dann bei weiterer Temperaturerhöhung orange oder gelb wird. Tatsächlich ist die sogenannte *Farbtemperatur* eines Objekts als die Temperatur definiert, auf die ein schwarzer Körper erhitzt werden müsste, um dasselbe Aussehen zu erzeugen.

Im Folgenden finden Sie drei Ausdrücke, mit denen die von einem schwarzen Körper abgegebene Strahlung beschrieben wird.

30.3.1 Plancksches Gesetz

10399203;a1

Abbildung 30.3 Max Planck (1858 – 1947)

Max Planck (1858 – 1947) konnte die spektrale Verteilung der Strahlung eines schwarzen Körpers mit Hilfe der folgenden Formel darstellen:

$$W_{\lambda b} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5\left(e^{hc/\lambda kT} - 1\right)} \times 10^{-6}[Watt/m^2, \mu m]$$

Es gilt:

$W_{\lambda b}$	Spektrale Abstrahlung des schwarzen Körpers bei Wellenlänge λ

c	Lichtgeschwindigkeit = 3×10^8 m/s
h	Plancksche Konstante = $6{,}6 \times 10^{-34}$ Joule Sek
k	Boltzmannsche Konstante = $1{,}4 \times 10^{-23}$ Joule/K
T	Absolute Temperatur (K) eines schwarzen Körpers
λ	Wellenlänge (µm)

➲ Der Faktor 10^{-6} wird verwendet, da die Spektralstrahlung in den Kurven in Watt/m^2, µm angegeben wird.

Die plancksche Formel erzeugt eine Reihe von Kurven, wenn sie für verschiedene Temperaturen dargestellt wird. Auf jeder planckschen Kurve ist die Spektralstrahlung Null bei $\lambda = 0$ und steigt dann bei einer Wellenlänge von λ_{max} rasch auf ein Maximum an und nähert sich nach Überschreiten bei sehr langen Wellenlängen wieder Null an. Je höher die Temperatur, desto kürzer ist die Wellenlänge, bei der das Maximum auftritt.

10327103;a4

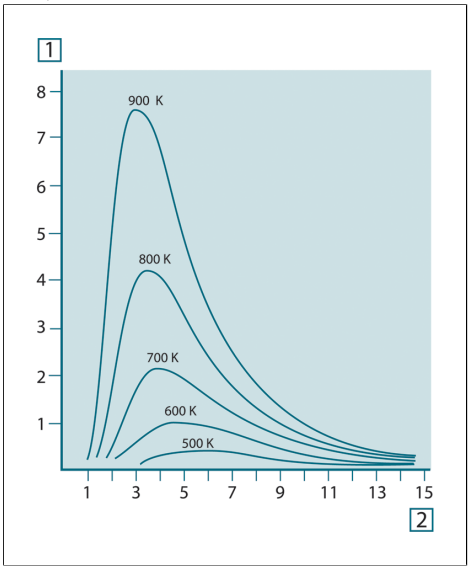


Abbildung 30.4 Die spektrale Abstrahlung eines schwarzen Körpers gemäß dem planckschen Gesetz, für verschiedene absolute Temperaturen dargestellt. **1:** Spektrale Abstrahlung (W/$cm^2 \times 10^3$(µm)); **2:** Wellenlänge (µm)

30.3.2 Wiensches Verschiebungsgesetz

Durch Ableitung der planckschen Formel nach λ und Ermittlung des Maximums erhalten wir:

$$\lambda_{\max} = \frac{2898}{T}[\mu m]$$

Dies ist die wiensche Funktion (benannt nach *Wilhelm Wien*, 1864 – 1928), die mathematisch darstellt, dass mit zunehmender Temperatur des thermischen Strahlers die Farben von Rot in Orange oder Gelb übergehen. Die Wellenlänge der Farbe ist identisch mit der für λ_{max} berechneten Wellenlänge. Eine gute Näherung für den Wert von λ_{max} für einen gegebenen schwarzen Körper wird erzielt, indem die Faustregel 3000/T µm angewendet wird. So strahlt ein sehr heißer Stern, z. B. Sirius (11000 K), der bläulich weißes Licht abgibt, mit einem Spitzenwert der spektralen Abstrahlung, die innerhalb des unsichtbaren ultravioletten Spektrums bei der Wellenlänge 0,27 µm auftritt.

10399403;a1

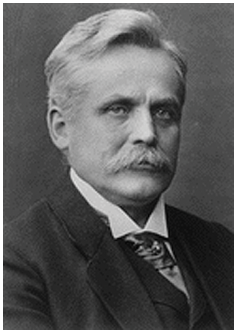


Abbildung 30.5 Wilhelm Wien (1864 – 1928)

Die Sonne (ca. 6000 K) strahlt gelbes Licht aus. Der Spitzenwert liegt in der Mitte des sichtbaren Lichtspektrums bei etwa 0,5 µm.

Bei Raumtemperatur (300 K) liegt der Spitzenwert der Abstrahlung bei 9,7 µm im fernen Infrarotbereich, während bei der Temperatur von flüssigem Stickstoff (77 K) das Maximum einer beinahe zu vernachlässigenden Abstrahlung bei 38 µm liegt – extreme Infrarot-Wellenlängen.

10327203;a4

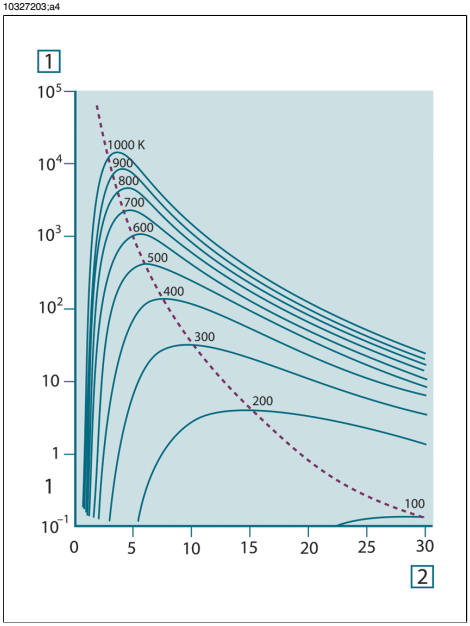


Abbildung 30.6 Plancksche Kurven auf halb-logarithmischen Skalen von 100 K bis 1000 K. Die gepunktete Linie stellt den Ort der maximalen Abstrahlung bei den einzelnen Temperaturen dar, wie sie vom wienschen Verschiebungsgesetz beschrieben wird. **1:** Spektrale Abstrahlung (W/cm² (µm)); **2:** Wellenlänge (µm).

30.3.3 Stefan-Boltzmann-Gesetz

Durch Integration der planckschen Funktion von λ = 0 bis λ = ∞ erhält man die gesamte abgegebene Strahlung eines schwarzen Körpers (W_b):

$$W_b = \sigma T^4 \ [\mathrm{Watt/m^2}]$$

Das Stefan-Boltzmann-Gesetz (nach *Josef Stefan*, 1835 – 1893, und *Ludwig Boltzmann*, 1844 – 1906) besagt, dass die gesamte emittierte Energie eines schwarzen Körpers proportional zur vierten Potenz seiner absoluten Temperatur steigt. Grafisch stellt W_b die Fläche unterhalb der planckschen Kurve für eine bestimmte Temperatur dar. Die emittierte Strahlung im Intervall λ = 0 bis λ_{max} beträgt demnach nur 25 % der Gesamtstrahlung. Dies entspricht etwa der Strahlung der Sonne, die innerhalb des sichtbaren Spektralbereichs liegt.

10399303;a1

Abbildung 30.7 Josef Stefan (1835 – 1893) und Ludwig Boltzmann (1844 – 1906)

Wenn wir die Stefan-Boltzmann-Formel zur Berechnung der von einem menschlichen Körper ausgestrahlten Leistung bei einer Temperatur von 300 K und einer externen Oberfläche von ca. 2 m^2 verwenden, erhalten wir 1 kW. Dieser Leistungsverlust ist nur erträglich auf Grund von kompensierender Absorption der Strahlung durch Umgebungsflächen, von Raumtemperaturen, die nicht zu sehr von der Körpertemperatur abweichen, oder natürlich durch Tragen von Kleidung.

30.3.4 Nicht-schwarze Körper als Strahlungsquellen

Bisher wurden nur schwarze Körper als Strahlungsquellen und die Strahlung schwarzer Körper behandelt. Reale Objekte erfüllen diese Gesetze selten über einen größeren Wellenlängenbereich, obwohl sie sich in bestimmten Spektralbereichen dem Verhalten der schwarzen Körper annähern mögen. So erscheint beispielsweise eine bestimmte Sorte von weißer Farbe im sichtbaren Bereich perfekt *weiß*, wird jedoch bei 2 µm deutlich *grau* und ab 3 µm sieht sie fast *schwarz* aus.

Es gibt drei Situationen, die verhindern können, dass sich ein reales Objekt wie ein schwarzer Körper verhält: Ein Bruchteil der auftretenden Strahlung α wird absorbiert, ein Bruchteil von ρ wird reflektiert und ein Bruchteil von τ wird übertragen. Da alle diese Faktoren mehr oder weniger abhängig von der Wellenlänge sind, wird der Index λ verwendet, um auf die spektrale Abhängigkeit ihrer Definitionen hinzuweisen. Daher gilt:

- Die spektrale Absorptionsfähigkeit α_λ = Verhältnis der spektralen Strahlungsleistung, die von einem Objekt absorbiert wird, zum Strahlungseinfall.
- Die spektrale Reflektionsfähigkeit ρ_λ = Verhältnis der spektralen Strahlungsleistung, die von einem Objekt reflektiert wird, zum Strahlungseinfall.
- Der spektrale Transmissionsgrad τ_λ = Verhältnis der spektralen Strahlungsleistung, die durch ein Objekt übertragen wird, zum Strahlungseinfall.

Die Summe dieser drei Faktoren muss für jede Wellenlänge immer den Gesamtwert ergeben. Daher gilt folgende Beziehung:

$$\alpha_\lambda + \rho_\lambda + \tau_\lambda = 1$$

Für undurchsichtige Materialien ist $\tau_\lambda = 0$. Die Beziehung vereinfacht sich zu:

$$\alpha_\lambda + \rho_\lambda = 1$$

Ein weiterer Faktor, Emissionsgrad genannt, ist zur Beschreibung des Bruchteils ε der Abstrahlung eines schwarzen Körpers, die von einem Objekt bei einer bestimmten Temperatur erzeugt wird, erforderlich. So gilt folgende Definition:

Der spektrale Emissionsgrad ε_λ = Verhältnis der spektralen Strahlungsleistung eines Objekts zu der spektralen Strahlungsleistung eines schwarzen Körpers mit derselben Temperatur und Wellenlänge.

Mathematisch ausgedrückt kann dies als Verhältnis der spektralen Strahlungsleistung des Objekts zur spektralen Strahlungsleistung eines schwarzen Körpers wie folgt beschrieben werden:

$$\varepsilon_\lambda = \frac{W_{\lambda o}}{W_{\lambda b}}$$

Generell gibt es drei Arten von Strahlungsquellen, die sich darin unterscheiden, wie sich die Spektralstrahlung jeder einzelnen mit der Wellenlänge ändert.

- Ein schwarzer Körper, für den gilt: $\varepsilon_\lambda = \varepsilon = 1$
- Ein grauer Körper, für den gilt: $\varepsilon_\lambda = \varepsilon$ = Konstante kleiner 1
- Ein selektiver Strahler, bei dem ε sich mit der Wellenlänge ändert

Nach dem kirchhoffschen Gesetz entsprechen für alle Werkstoffe die emittierte Strahlung und die spektrale Absorptionsfähigkeit eines Körpers einer bestimmten Temperatur und Wellenlänge. Das bedeutet:

$$\varepsilon_\lambda = \alpha_\lambda$$

Daraus erhalten wir für ein undurchsichtiges Material (da $\alpha_\lambda + \rho_\lambda = 1$):

$$\varepsilon_\lambda + \rho_\lambda = 1$$

Für extrem glatte Werkstoffe nähert sich ε_λ Null an, so dass für einen vollkommen reflektierenden Werkstoff (*d. h.* einen perfekten Spiegel) gilt:

$$\rho_\lambda = 1$$

Für einen grauen Körper als Strahlungsquelle wird die Stefan-Boltzmann-Formel zu:

$$W = \varepsilon \sigma T^4 \, [\mathrm{Watt/m^2}]$$

Dies sagt aus, dass die gesamte Strahlungsleistung eines grauen Körpers dieselbe ist wie bei einem schwarzen Körper gleicher Temperatur, der proportional zum Wert von ε des grauen Körpers reduziert ist.

10401203;a2

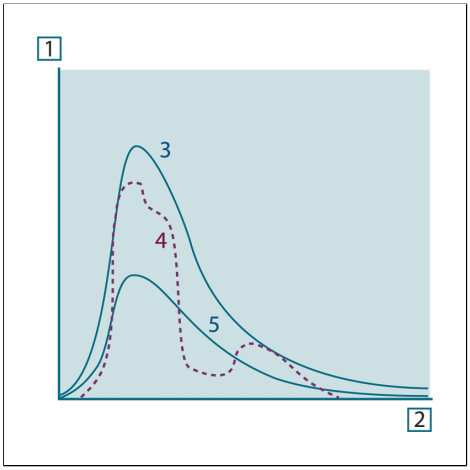


Abbildung 30.8 Spektrale Abstrahlung von drei Strahlertypen **1:** Spektrale Abstrahlung; **2:** Wellenlänge; **3:** Schwarzer Körper; **4:** Selektiver Strahler; **5:** Grauer Körper

10327303;a4

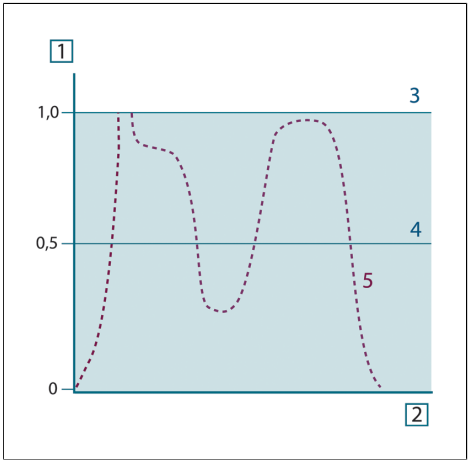


Abbildung 30.9 Spektraler Emissionsgrad von drei Strahlertypen **1:** Spektraler Emissionsgrad; **2:** Wellenlänge; **3:** Schwarzer Körper; **4:** Grauer Körper; **5:** Selektiver Strahler

30.4 Halb-transparente Infrarotmaterialien

Stellen Sie sich jetzt einen nicht-metallischen, halb-transparenten Körper vor, z. B. in Form einer dicken, flachen Scheibe aus Kunststoff. Wenn die Scheibe erhitzt wird, muss sich die in dem Körper erzeugte Strahlung durch den Werkstoff, in dem sie teilweise absorbiert wird, an die Oberflächen durcharbeiten. Wenn sie an der Oberfläche eintrifft, wird außerdem ein Teil davon in das Innere zurückreflektiert. Die zurückreflektierte Strahlung wird wiederum teilweise absorbiert, ein Teil davon gelangt jedoch zur anderen Oberfläche, durch die der größte Anteil entweicht; ein Teil davon wird wieder zurückreflektiert. Obwohl die nachfolgenden Reflexionen immer schwächer werden, müssen sie alle addiert werden, wenn die Gesamtstrahlung der Scheibe ermittelt werden soll. Wenn die resultierende geometrische Reihe summiert wird, ergibt sich der effektive Emissionsgrad einer halb-transparenten Scheibe als:

$$\varepsilon_\lambda = \frac{(1-\rho_\lambda)(1-\tau_\lambda)}{1-\rho_\lambda\tau_\lambda}$$

Wenn die Scheibe undurchsichtig wird, reduziert sich diese Formel auf die einzelne Formel:

$$\varepsilon_\lambda = 1-\rho_\lambda$$

Diese letzte Beziehung ist besonders praktisch, da es oft einfacher ist, die Reflexionsfähigkeit zu messen, anstatt den Emissionsgrad direkt zu messen.

31 Die Messformel

Wie bereits erwähnt empfängt die Kamera beim Betrachten eines Objekts nicht nur die Strahlung vom Objekt selbst. Sie nimmt auch die Strahlung aus der Umgebung auf, die von der Objektoberfläche reflektiert wird. Beide Strahlungsanteile werden bis zu einem gewissen Grad durch die Atmosphäre im Messpfad abgeschwächt. Dazu kommt ein dritter Strahlungsanteil von der Atmosphäre selbst.

Diese Beschreibung der Messsituation, wie in der folgenden Abbildung dargestellt, ist eine recht genaue Erläuterung der tatsächlichen Bedingungen. Vernachlässigt wurden wahrscheinlich die Streuung des Sonnenlichts in der Atmosphäre oder die Streustrahlung von starken Strahlungsquellen außerhalb des Betrachtungsfeldes. Solche Störungen sind schwer zu quantifizieren, in den meisten Fällen jedoch glücklicherweise so gering, dass sie vernachlässigbar sind. Ist dies nicht der Fall, ist die Messkonfiguration wahrscheinlich so ausgelegt, dass zumindest ein erfahrener Bediener das Störungsrisiko erkennen kann. Dann liegt es in seiner Verantwortung, die Messsituation so zu ändern, dass Störungen vermieden werden, z. B. durch Ändern der Betrachtungsrichtung, Abschirmen starker Strahlungsquellen usw.

Unter Berücksichtigung der obigen Beschreibung kann mit Hilfe der nachfolgenden Abbildung eine Formel zur Berechnung der Objekttemperatur über das Ausganggsignal der kalibrierten Kamera abgeleitet werden.

10400503;a1

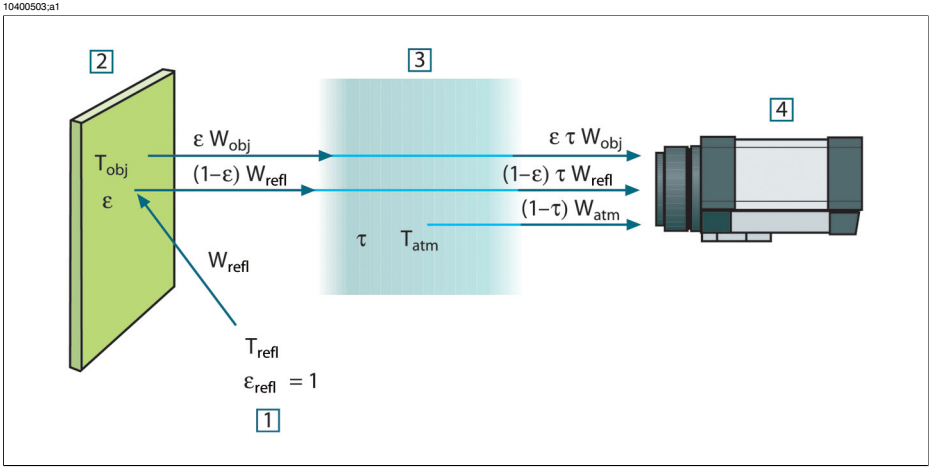


Abbildung 31.1 Schematische Darstellung der allgemeinen thermografischen Messsituation **1:** Umgebung; **2:** Objekt; **3:** Atmosphäre; **4:** Kamera

Wir gehen davon aus, dass die empfangene Strahlungsleistung W von einem Schwarzkörper als Temperaturquelle T_{source} bei einer kurzen Entfernung ein Ausgabesignal U_{source} der Kamera erzeugt, das proportional zum Leistungseingang ist (Kamera mit linearer Leistung). Daraus ergibt sich (Gleichung 1):

$$U_{source} = CW(T_{source})$$

oder einfacher ausgedrückt:

$$U_{source} = CW_{source}$$

wobei C eine Konstante ist.

Handelt es sich um einen Graukörper mit der Abstrahlung ε, ist die empfangene Strahlung folglich εW_{source}.

Jetzt können wir die drei gesammelten Größen zur Strahlungsleistung notieren:

1 – Emission von Objekt = $\varepsilon\tau W_{obj}$, wobei ε die Abstrahlung des Objekts und τ die Transmission der Atmosphäre ist. Die Objekttemperatur ist T_{obj}.

2 – Reflektierte Emission von Umgebungsquellen = $(1 - \varepsilon)\tau W_{refl}$, wobei (1 – ε) die Reflektion des Objekts ist. Die Umgebungsquellen haben die Temperatur T_{refl}.

Hier wurde davon ausgegangen, dass die Temperatur T_{refl} für alle emittierenden Oberflächen innerhalb der Halbsphäre, die von einem Punkt auf der Objektoberfläche betrachtet wird, gleich ist. Dies ist in einigen Fällen natürlich eine Vereinfachung der tatsächlichen Situation. Diese ist jedoch notwendig, damit eine praktikable Formel abgeleitet werden kann. T_{refl} kann – zumindest theoretisch – ein Wert zugewiesen werden, der eine effiziente Temperatur einer komplexen Umgebung darstellt.

Als Abstrahlung für die Umgebung wurde der Wert 1 angenommen. Dies ist in Übereinstimmung mit dem kirchhoffschen Gesetz richtig: Die gesamte Strahlung, die auf die umgebenden Oberflächen auftritt, wird schließlich von diesen absorbiert. Daher ist die Abstrahlung = 1. (Es ist zu beachten, dass entsprechend neuester Erkenntnisse die gesamte Sphäre um das betreffende Objekt beachtet werden muss.)

3 – Emission von Atmosphäre = $(1 - \tau)\tau W_{atm}$, wobei (1 – τ) die Abstrahlung der Atmosphäre ist. Die Temperatur der Atmosphäre ist T_{atm}.

Die gesamte empfangene Strahlungsleistung kann nun notiert werden (Gleichung 2):

$$W_{tot} = \varepsilon\tau W_{obj} + (1 - \varepsilon)\tau W_{refl} + (1 - \tau)W_{atm}$$

Wir multiplizieren jeden Ausdruck mit der Konstante C aus Gleichung 1 und ersetzen die Produkte aus CW durch das entsprechende U gemäß derselben Gleichung und erhalten (Gleichung 3):

$$U_{tot} = \varepsilon\tau U_{obj} + (1-\varepsilon)\tau U_{refl} + (1-\tau)U_{atm}$$

Gleichung 3 wird nach U_{obj} aufgelöst (Gleichung 4):

$$U_{obj} = \frac{1}{\varepsilon\tau}U_{tot} - \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon}U_{refl} - \frac{1-\tau}{\varepsilon\tau}U_{atm}$$

Dies ist die allgemeine Messformel, die in allen thermografischen Geräten von FLIR Systems verwendet wird. Die Spannungen der Formel lauten:

Abbildung 31.2 Spannungen

U_{obj}	Berechnete Ausgabespannung der Kamera für einen Schwarzkörper der Temperatur T_{obj}, also eine Spannung, die sofort in die tatsächliche Temperatur des betreffenden Objekts umgewandelt werden kann.
U_{tot}	Gemessene Ausgabespannung der Kamera für den tatsächlichen Fall.
U_{refl}	Theoretische Ausgabespannung der Kamera für einen Schwarzkörper der Temperatur T_{refl} entsprechend der Kalibrierung.
U_{atm}	Theoretische Ausgabespannung der Kamera für einen Schwarzkörper der Temperatur T_{atm} entsprechend der Kalibrierung.

Der Bediener muss mehrere Parameterwerte für die Berechnung liefern:

- die Objektabstrahlung ε,
- die relative Luftfeuchtigkeit,
- T_{atm}
- Objektentfernung (D_{obj})
- die (effektive) Temperatur der Objektumgebung oder die reflektierte Umgebungstemperatur T_{refl} und
- die Temperatur der Atmosphäre T_{atm}

Diese Aufgabe ist für den Bediener oft schwierig, da normalerweise die genauen Werte für die Abstrahlung und die Transmission der Atmosphäre für den tatsächlichen Fall nur schwer zu ermitteln sind. Die zwei Temperaturen sind für gewöhnlich ein geringeres Problem, wenn in der Umgebung keine großen und intensiven Strahlungsquellen vorhanden sind.

Eine natürliche Frage in diesem Zusammenhang ist: Wie wichtig ist die Kenntnis der richtigen Werte dieser Parameter? Es kann hilfreich sein, bereits an dieser Stelle ein Gefühl für diese Problematik zu entwickeln, indem verschiedene Messfälle betrachtet und die relativen Größen der drei Strahlungsgrößen verglichen werden. Daraus lässt sich ersehen, wann es wichtig ist, die richtigen Werte bestimmter Parameter zu verwenden.

Die folgenden Zahlen stellen die relativen Größen der drei Strahlungsanteile für drei verschiedene Objekttemperaturen, zwei Abstrahlungen und zwei Spektralbereiche dar: SW und LW. Die übrigen Parameter haben die folgenden festen Werte:

- $\tau = 0{,}88$
- $T_{refl} = +20\ °C$
- $T_{atm} = +20\ °C$

Es ist offensichtlich, dass die Messung niedriger Objekttemperaturen kritischer ist als die Messung hoher Temperaturen, da die Störstrahlungsquellen im ersteren Fall vergleichsweise stärker sind. Falls zusätzlich die Objektabstrahlung schwach ist, wird die Situation noch schwieriger.

Schließlich muss geklärt werden, wie wichtig es ist, die Kalibrierungskurve über dem höchsten Kalibrierungspunkt nutzen zu dürfen (Extrapolation genannt). Angenommen, in einem bestimmten Fall werden $U_{tot} = 4{,}5$ Volt gemessen. Der höchste Kalibrierungspunkt der Kamera liegt im Bereich von 4,1 Volt, einem Wert, der dem Bediener unbekannt ist. Selbst wenn das Objekt ein Schwarzkörper ist, also $U_{obj} = U_{tot}$ ist, wird tatsächlich eine Extrapolation der Kalibrierungskurve durchgeführt, wenn 4,5 Volt in Temperatur umgerechnet werden.

Es wird nun angenommen, dass das Objekt nicht schwarz ist, seine Abstrahlung 0,75 und die Transmission 0,92 betragen. Weiterhin wird davon ausgegangen, dass die beiden zweiten Ausdrücke der Gleichung 4 zusammen 0,5 Volt ergeben. Die Berechnung von U_{obj} mit Hilfe der Gleichung 4 ergibt dann $U_{obj} = 4{,}5 / 0{,}75 / 0{,}92 – 0{,}5 = 6{,}0$. Dies ist eine recht extreme Extrapolation, besonders wenn man bedenkt, dass der Videoverstärker die Ausgabe wahrscheinlich auf 5 Volt beschränkt. Beachten Sie jedoch, dass die Anwendung der Kalibrierungskurve eine theoretische Vorgehensweise ist, bei der weder elektronische noch andere Beschränkungen bestehen. Wir sind davon überzeugt, dass bei einer fehlenden Signalbegrenzung in der Kamera und deren Kalibrierung auf weit mehr als 5 Volt die entstehende Kurve der tatsächlichen Kurve mit einer Extrapolation von mehr als 4,1 Volt sehr ähnlich gewesen wäre, vorausgesetzt, der Kalibrierungsalgorithmus beruht auf Gesetzen der Strahlungsphysik, wie zum Beispiel der Algorithmus von FLIR Systems. Natürlich muss es für solche Extrapolationen eine Grenze geben.

10400603;a2

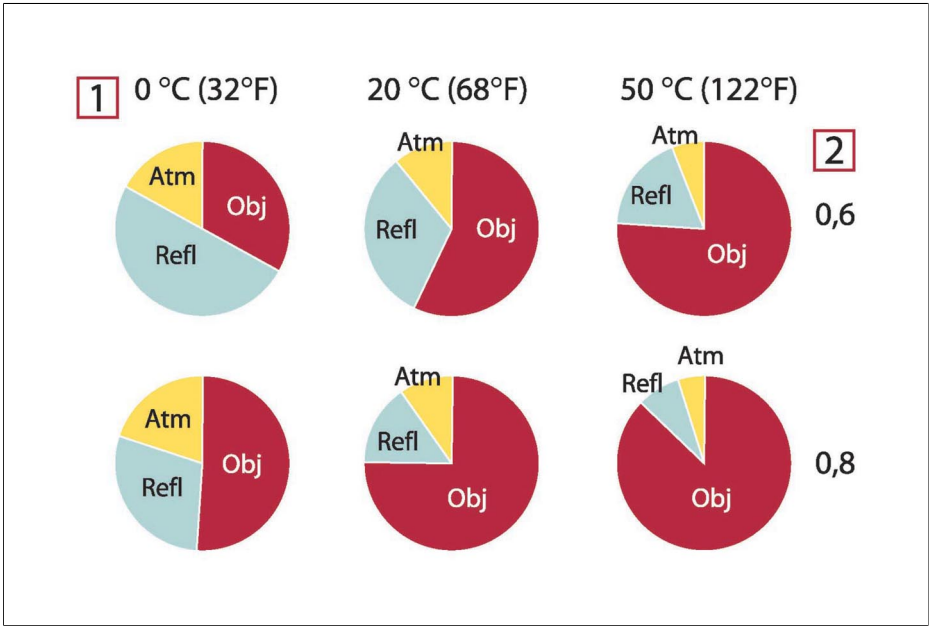


Abbildung 31.3 Relative Größen der Strahlungsquellen unter verschiedenen Messbedingungen (SW-Kamera). **1:** Objekttemperatur; **2:** Abstrahlung; **Obj:** Objektstrahlung; **Refl:** Reflektierte Strahlung; **Atm:** Atmosphärenstrahlung. Feste Parameter: $\tau = 0{,}88$; $T_{refl} = 20$ °C; $T_{atm} = 20$ °C.

10400703;a2

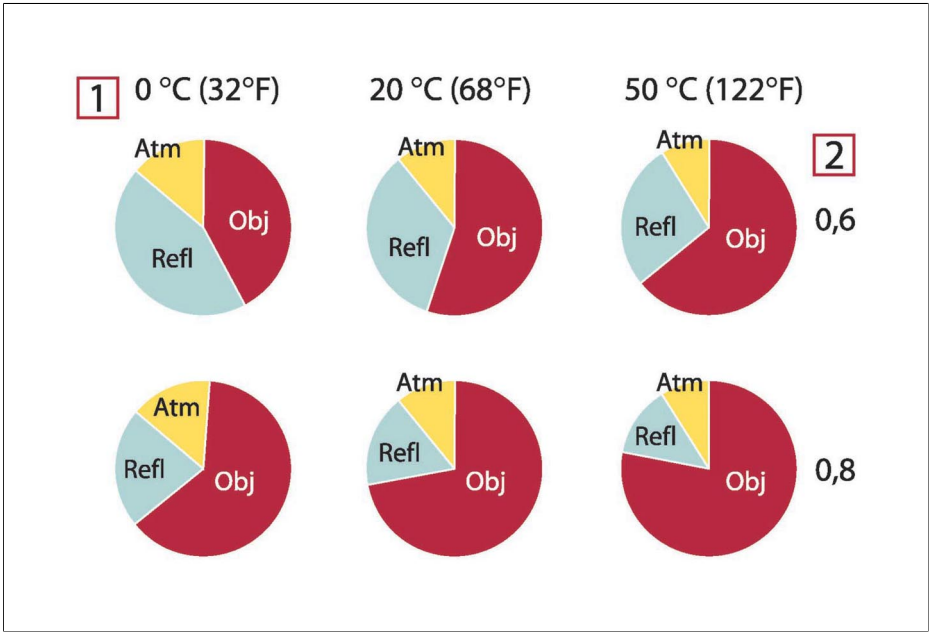


Abbildung 31.4 Relative Größen der Strahlungsquellen unter verschiedenen Messbedingungen (LW-Kamera). **1:** Objekttemperatur; **2:** Abstrahlung; **Obj:** Objektstrahlung; **Refl:** Reflektierte Strahlung; **Atm:** Atmosphärenstrahlung. Feste Parameter: $\tau = 0{,}88$; $T_{refl} = 20$ °C; $T_{atm} = 20$ °C.

32 Emissionstabellen

In diesem Abschnitt finden Sie eine Aufstellung von Emissionsdaten aus der Fachliteratur und eigenen Messungen von FLIR Systems.

32.1 Referenzen

1	Mikaél A. Bramson: *Infrared Radiation, A Handbook for Applications*, Plenum press, N.Y.
2	William L. Wolfe, George J. Zissis: *The Infrared Handbook*, Office of Naval Research, Department of Navy, Washington, D.C.
3	Madding, R. P.: *Thermographic Instruments and Systems*. Madison, Wisconsin: University of Wisconsin - Extension, Department of Engineering and Applied Science.
4	William L. Wolfe: *Handbook of Military Infrared Technology*, Office of Naval Research, Department of Navy, Washington, D.C.
5	Jones, Smith, Probert: *External thermography of buildings...,* Proc. of the Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers, vol.110, Industrial and Civil Applications of Infrared Technology, Juni 1977 London.
6	Paljak, Pettersson: *Thermography of Buildings*, Swedish Building Research Institute, Stockholm 1972.
7	Vlcek, J: *Determination of emissivity with imaging radiometers and some emissivities at* $\lambda = 5$ *µm.* Photogrammetric Engineering and Remote Sensing.
8	Kern: *Evaluation of infrared emission of clouds and ground as measured by weather satellites*, Defence Documentation Center, AD 617 417.
9	Öhman, Claes: *Emittansmätningar med AGEMA E-Box*. Teknisk rapport, AGEMA 1999. (Emissionsmessungen mit AGEMA E-Box. Technischer Bericht, AGEMA 1999.)
10	Matteï, S., Tang-Kwor, E: *Emissivity measurements for Nextel Velvet coating 811-21 between –36°C AND 82°C.*
11	Lohrengel & Todtenhaupt (1996)
12	ITC Technical publication 32.
13	ITC Technical publication 29.

32.2 Wichtiger Hinweis zu den Emissionsgradtabellen

Die Emissionswerte in der Tabelle unten wurden mit einer Kurzwellenkamera aufgenommen. Die Werte gelten lediglich als Empfehlung und sind mit Sorgfalt zu verwenden.

32.3 Tabellen

Abbildung 32.1 T: Gesamtspektrum; **SW:** 2 – 5 μm; **LW:** 8 – 14 μm, **LLW:** 6,5 – 20 μm; **1:** Werkstoff; **2:** Spezifikation; **3:** Temperatur in °C; **4:** Spektrum; **5:** Emissionsgrad; **6:** Referenz

1	2	3	4	5	6
3M Scotch 35	PVC-Elektroisolierband (verschiedene Farben)	< 80	LW	ungefähr 0,96	13
3M Scotch Super 33+	schwarzes PVC-Elektroisolierband	< 80	LW	ungefähr 0,96	13
3M Scotch Super 88	schwarzes PVC-Elektroisolierband	< 105	LW	ungefähr 0,96	13
3M Scotch Super 88	schwarzes PVC-Elektroisolierband	< 105	MW	< 0.96	13
Aluminium	Blech, 4 Muster unterschiedlich zerkratzt	70	LW	0,03–0,06	9
Aluminium	Blech, 4 Muster unterschiedlich zerkratzt	70	SW	0,05–0,08	9
Aluminium	eloxiert, hellgrau, stumpf	70	LW	0,97	9
Aluminium	eloxiert, hellgrau, stumpf	70	SW	0,61	9
Aluminium	eloxiert, schwarz, stumpf	70	LW	0,95	9
Aluminium	eloxiert, schwarz, stumpf	70	SW	0,67	9
Aluminium	eloxiertes Blech	100	T	0,55	2
Aluminium	Folie	27	3 μm	0,09	3
Aluminium	Folie	27	10 μm	0,04	3
Aluminium	geraut	27	3 μm	0,28	3
Aluminium	geraut	27	10 μm	0,18	3
Aluminium	Guss, sandgestrahlt	70	LW	0,46	9
Aluminium	Guss, sandgestrahlt	70	SW	0,47	9

1	2	3	4	5	6
Aluminium	in HNO_3 getaucht, Platte	100	T	0,05	4
Aluminium	poliert	50–100	T	0,04–0,06	1
Aluminium	poliert, Blech	100	T	0,05	2
Aluminium	polierte Platte	100	T	0,05	4
Aluminium	raue Oberfläche	20–50	T	0,06–0,07	1
Aluminium	stark oxidiert	50–500	T	0,2–0,3	1
Aluminium	stark verwittert	17	SW	0,83–0,94	5
Aluminium	unverändert, Blech	100	T	0,09	2
Aluminium	unverändert, Platte	100	T	0,09	4
Aluminium	vakuumbeschichtet	20	T	0,04	2
Aluminiumbronze		20	T	0,60	1
Aluminiumhydroxid	Pulver		T	0,28	1
Aluminiumoxid	aktiviert, Pulver		T	0,46	1
Aluminiumoxid	rein, Pulver (Aluminiumoxid)		T	0,16	1
Asbest	Bodenfliesen	35	SW	0,94	7
Asbest	Brett	20	T	0,96	1
Asbest	Gewerbe		T	0,78	1
Asbest	Papier	40–400	T	0,93–0,95	1
Asbest	Pulver		T	0,40–0,60	1
Asbest	Ziegel	20	T	0,96	1
Asphaltstraßenbelag		4	LLW	0,967	8
Beton		20	T	0,92	2
Beton	Gehweg	5	LLW	0,974	8
Beton	rau	17	SW	0,97	5

1	2	3	4	5	6
Beton	trocken	36	SW	0,95	7
Blech	glänzend	20–50	T	0,04–0,06	1
Blech	Weißblech	100	T	0,07	2
Blei	glänzend	250	T	0,08	1
Blei	nicht oxidiert, poliert	100	T	0,05	4
Blei	oxidiert, grau	20	T	0,28	1
Blei	oxidiert, grau	22	T	0,28	4
Blei	oxidiert bei 200 °C	200	T	0,63	1
Blei rot		100	T	0,93	4
Blei rot, Pulver		100	T	0,93	1
Bronze	Phosphorbronze	70	LW	0,06	9
Bronze	Phosphorbronze	70	SW	0,08	9
Bronze	poliert	50	T	0,1	1
Bronze	porös, rau	50–150	T	0,55	1
Bronze	Pulver		T	0,76–0,80	1
Chrom	poliert	50	T	0,10	1
Chrom	poliert	500–1000	T	0,28–0,38	1
Ebonit			T	0,89	1
Eis: Siehe Wasser					
Eisen galvanisiert	Blech	92	T	0,07	4
Eisen galvanisiert	Blech, oxidiert	20	T	0,28	1
Eisen galvanisiert	Blech, poliert	30	T	0,23	1
Eisen galvanisiert	stark oxidiert	70	LW	0,85	9
Eisen galvanisiert	stark oxidiert	70	SW	0,64	9
Eisen und Stahl	elektrolytisch	22	T	0,05	4
Eisen und Stahl	elektrolytisch	100	T	0,05	4
Eisen und Stahl	elektrolytisch	260	T	0,07	4

1	2	3	4	5	6
Eisen und Stahl	elektrolytisch, hochglanzpoliert	175–225	T	0,05–0,06	1
Eisen und Stahl	frisch gewalzt	20	T	0,24	1
Eisen und Stahl	frisch mit Schmirgelpapier bearbeitet	20	T	0,24	1
Eisen und Stahl	geschliffenes Blech	950–1100	T	0,55–0,61	1
Eisen und Stahl	geschmiedet, hochglanzpoliert	40–250	T	0,28	1
Eisen und Stahl	gewalztes Blech	50	T	0,56	1
Eisen und Stahl	glänzend, geätzt	150	T	0,16	1
Eisen und Stahl	glänzende Oxidschicht, Blech	20	T	0,82	1
Eisen und Stahl	heißgewalzt	20	T	0,77	1
Eisen und Stahl	heißgewalzt	130	T	0,60	1
Eisen und Stahl	kaltgewalzt	70	LW	0,09	9
Eisen und Stahl	kaltgewalzt	70	SW	0,20	9
Eisen und Stahl	mit rotem Rost bedeckt	20	T	0,61–0,85	1
Eisen und Stahl	oxidiert	100	T	0,74	1
Eisen und Stahl	oxidiert	100	T	0,74	4
Eisen und Stahl	oxidiert	125–525	T	0,78–0,82	1
Eisen und Stahl	oxidiert	200	T	0,79	2
Eisen und Stahl	oxidiert	200–600	T	0,80	1
Eisen und Stahl	oxidiert	1227	T	0,89	4
Eisen und Stahl	poliert	100	T	0,07	2
Eisen und Stahl	poliert	400–1000	T	0,14–0,38	1
Eisen und Stahl	poliertes Blech	750–1050	T	0,52–0,56	1
Eisen und Stahl	rau, ebene Oberfläche	50	T	0,95–0,98	1
Eisen und Stahl	rostig, rot	20	T	0,69	1

1	2	3	4	5	6
Eisen und Stahl	rostrot, Blech	22	T	0,69	4
Eisen und Stahl	stark oxidiert	50	T	0,88	1
Eisen und Stahl	stark oxidiert	500	T	0,98	1
Eisen und Stahl	stark verrostet	17	SW	0,96	5
Eisen und Stahl	stark verrostetes Blech	20	T	0,69	2
Eisen verzinnt	Blech	24	T	0,064	4
Emaille		20	T	0,9	1
Emaille	Lack	20	T	0,85–0,95	1
Erde	mit Wasser gesättigt	20	T	0,95	2
Erde	trocken	20	T	0,92	2
Faserplatte	hart, unbehandelt	20	SW	0,85	6
Faserplatte	Ottrelith	70	LW	0,88	9
Faserplatte	Ottrelith	70	SW	0,75	9
Faserplatte	Partikelplatte	70	LW	0,89	9
Faserplatte	Partikelplatte	70	SW	0,77	9
Faserplatte	porös, unbehandelt	20	SW	0,85	6
Firnis	auf Eichenparkettboden	70	LW	0,90–0,93	9
Firnis	auf Eichenparkettboden	70	SW	0,90	9
Firnis	matt	20	SW	0,93	6
Gips		20	T	0,8–0,9	1
Gipsputz		17	SW	0,86	5
Gipsputz	Gipsplatte, unbehandelt	20	SW	0,90	6
Gipsputz	raue Oberfläche	20	T	0,91	2
Gold	hochglanzpoliert	200–600	T	0,02–0,03	1
Gold	hochpoliert	100	T	0,02	2

1	2	3	4	5	6
Gold	poliert	130	T	0,018	1
Granit	poliert	20	LLW	0,849	8
Granit	rau	21	LLW	0,879	8
Granit	rau, 4 verschiedene Muster	70	LW	0,77–0,87	9
Granit	rau, 4 verschiedene Muster	70	SW	0,95–0,97	9
Gummi	hart	20	T	0,95	1
Gummi	weich, grau, rau	20	T	0,95	1
Gusseisen	bearbeitet	800–1000	T	0,60–0,70	1
Gusseisen	flüssig	1300	T	0,28	1
Gusseisen	Guss	50	T	0,81	1
Gusseisen	Gusseisenblöcke	1000	T	0,95	1
Gusseisen	oxidiert	38	T	0,63	4
Gusseisen	oxidiert	100	T	0,64	2
Gusseisen	oxidiert	260	T	0,66	4
Gusseisen	oxidiert	538	T	0,76	4
Gusseisen	oxidiert bei 600 °C	200–600	T	0,64–0,78	1
Gusseisen	poliert	38	T	0,21	4
Gusseisen	poliert	40	T	0,21	2
Gusseisen	poliert	200	T	0,21	1
Gusseisen	unbearbeitet	900–1100	T	0,87–0,95	1
Haut	Mensch	32	T	0,98	2
Holz		17	SW	0,98	5
Holz		19	LLW	0,962	8
Holz	gehobelt	20	T	0,8–0,9	1
Holz	gehobelte Eiche	20	T	0,90	2
Holz	gehobelte Eiche	70	LW	0,88	9
Holz	gehobelte Eiche	70	SW	0,77	9

1	2	3	4	5	6
Holz	geschmirgelt		T	0,5–0,7	1
Holz	Pinie, 4 verschiedene Muster	70	LW	0,81–0,89	9
Holz	Pinie, 4 verschiedene Muster	70	SW	0,67–0,75	9
Holz	Sperrholz, glatt, trocken	36	SW	0,82	7
Holz	Sperrholz, unbehandelt	20	SW	0,83	6
Holz	weiß, feucht	20	T	0,7–0,8	1
Kalk			T	0,3–0,4	1
Kohlenstoff	Grafit, Oberfläche gefeilt	20	T	0,98	2
Kohlenstoff	Grafitpulver		T	0,97	1
Kohlenstoff	Holzkohlepulver		T	0,96	1
Kohlenstoff	Kerzenruß	20	T	0,95	2
Kohlenstoff	Lampenruß	20–400	T	0,95–0,97	1
Krylon Ultra-flat black 1602	Mattschwarz	Raumtemperatur bis 175	LW	ungefähr 0,96	12
Krylon Ultra-flat black 1602	Mattschwarz	Raumtemperatur bis 175	MW	ungefähr 0,97	12
Kunststoff	Glasfaserlaminat (Leiterplatte)	70	LW	0,91	9
Kunststoff	Glasfaserlaminat (Leiterplatte)	70	SW	0,94	9
Kunststoff	Polyurethan-Isolierplatte	70	LW	0,55	9
Kunststoff	Polyurethan-Isolierplatte	70	SW	0,29	9
Kunststoff	PVC, Kunststoffboden, stumpf, strukturiert	70	LW	0,93	9
Kunststoff	PVC, Kunststoffboden, stumpf, strukturiert	70	SW	0,94	9

1	2	3	4	5	6
Kupfer	elektrolytisch, hochglanzpoliert	80	T	0,018	1
Kupfer	elektrolytisch, poliert	–34	T	0,006	4
Kupfer	geschabt	27	T	0,07	4
Kupfer	geschmolzen	1100–1300	T	0,13–0,15	1
Kupfer	kommerziell, glänzend	20	T	0,07	1
Kupfer	oxidiert	50	T	0,6–0,7	1
Kupfer	oxidiert, dunkel	27	T	0,78	4
Kupfer	oxidiert, stark	20	T	0,78	2
Kupfer	oxidiert schwarz		T	0,88	1
Kupfer	poliert	50–100	T	0,02	1
Kupfer	poliert	100	T	0,03	2
Kupfer	poliert, kommerziell	27	T	0,03	4
Kupfer	poliert, mechanisch	22	T	0,015	4
Kupfer	rein, sorgfältig vorbereitete Oberfläche	22	T	0,008	4
Kupferdioxid	Pulver		T	0,84	1
Kupferoxid	rot, Pulver		T	0,70	1
Lack	3 Farben auf Aluminium gesprüht	70	LW	0,92–0,94	9
Lack	3 Farben auf Aluminium gesprüht	70	SW	0,50–0,53	9
Lack	Aluminium auf rauer Oberfläche	20	T	0,4	1
Lack	Bakelit	80	T	0,83	1
Lack	hitzebeständig	100	T	0,92	1
Lack	schwarz, glänzend, auf Eisen gesprüht	20	T	0,87	1

1	2	3	4	5	6
Lack	schwarz, matt	100	T	0,97	2
Lack	schwarz, stumpf	40–100	T	0,96–0,98	1
Lack	weiß	40–100	T	0,8–0,95	1
Lack	weiß	100	T	0,92	2
Lacke	8 verschiedene Farben und Qualitäten	70	LW	0,92–0,94	9
Lacke	8 verschiedene Farben und Qualitäten	70	SW	0,88–0,96	9
Lacke	Aluminium, unterschiedliches Alter	50–100	T	0,27–0,67	1
Lacke	auf Ölbasis, Mittelwert von 16 Farben	100	T	0,94	2
Lacke	chromgrün		T	0,65–0,70	1
Lacke	kadmiumgelb		T	0,28–0,33	1
Lacke	kobaltblau		T	0,7–0,8	1
Lacke	Kunststoff, schwarz	20	SW	0,95	6
Lacke	Kunststoff, weiß	20	SW	0,84	6
Lacke	Öl	17	SW	0,87	5
Lacke	Öl, diverse Farben	100	T	0,92–0,96	1
Lacke	Öl, glänzend grau	20	SW	0,96	6
Lacke	Öl, grau, matt	20	SW	0,97	6
Lacke	Öl, schwarz, matt	20	SW	0,94	6
Lacke	Öl, schwarz glänzend	20	SW	0,92	6
Leder	gebräunt, gegerbt		T	0,75–0,80	1
Magnesium		22	T	0,07	4
Magnesium		260	T	0,13	4
Magnesium		538	T	0,18	4

1	2	3	4	5	6
Magnesium	poliert	20	T	0,07	2
Magnesiumpulver			T	0,86	1
Messing	abgerieben mit 80er-Schmirgelpapier	20	T	0,20	2
Messing	Blech, gewalzt	20	T	0,06	1
Messing	Blech, mit Schmirgelpapier bearbeitet	20	T	0,2	1
Messing	hochpoliert	100	T	0,03	2
Messing	oxidiert	70	SW	0,04–0,09	9
Messing	oxidiert	70	LW	0,03–0,07	9
Messing	oxidiert	100	T	0,61	2
Messing	oxidiert bei 600 °C	200–600	T	0,59–0,61	1
Messing	poliert	200	T	0,03	1
Messing	stumpf, fleckig	20–350	T	0,22	1
Molybdän		600–1000	T	0,08–0,13	1
Molybdän		1500–2200	T	0,19–0,26	1
Molybdän	Faden	700–2500	T	0,1–0,3	1
Mörtel		17	SW	0,87	5
Mörtel	trocken	36	SW	0,94	7
Nextel Velvet 811-21 Black	Mattschwarz	–60–150	LW	> 0.97	10 und 11
Nickel	Draht	200–1000	T	0,1–0,2	1
Nickel	elektrolytisch	22	T	0,04	4
Nickel	elektrolytisch	38	T	0,06	4
Nickel	elektrolytisch	260	T	0,07	4
Nickel	elektrolytisch	538	T	0,10	4
Nickel	galvanisiert, poliert	20	T	0,05	2
Nickel	galvanisiert auf Eisen, nicht poliert	20	T	0,11–0,40	1

1	2	3	4	5	6
Nickel	galvanisiert auf Eisen, nicht poliert	22	T	0,11	4
Nickel	galvanisiert auf Eisen, poliert	22	T	0,045	4
Nickel	hell matt	122	T	0,041	4
Nickel	oxidiert	200	T	0,37	2
Nickel	oxidiert	227	T	0,37	4
Nickel	oxidiert	1227	T	0,85	4
Nickel	oxidiert bei 600 °C	200–600	T	0,37–0,48	1
Nickel	poliert	122	T	0,045	4
Nickel	rein, poliert	100	T	0,045	1
Nickel	rein, poliert	200–400	T	0,07–0,09	1
Nickelchrom	Draht, blank	50	T	0,65	1
Nickelchrom	Draht, blank	500–1000	T	0,71–0,79	1
Nickelchrom	Draht, oxidiert	50–500	T	0,95–0,98	1
Nickelchrom	gewalzt	700	T	0,25	1
Nickelchrom	sandgestrahlt	700	T	0,70	1
Nickeloxid		500–650	T	0,52–0,59	1
Nickeloxid		1000–1250	T	0,75–0,86	1
Öl, Schmieröl	0,025-mm-Film	20	T	0,27	2
Öl, Schmieröl	0,050-mm-Film	20	T	0,46	2
Öl, Schmieröl	0,125-mm-Film	20	T	0,72	2
Öl, Schmieröl	dicke Schicht	20	T	0,82	2
Öl, Schmieröl	Film auf Ni-Basis: nur Ni-Basis	20	T	0,05	2
Papier	4 verschiedene Farben	70	LW	0,92–0,94	9
Papier	4 verschiedene Farben	70	SW	0,68–0,74	9
Papier	beschichtet mit schwarzem Lack		T	0,93	1

1	2	3	4	5	6
Papier	dunkelblau		T	0,84	1
Papier	gelb		T	0,72	1
Papier	grün		T	0,85	1
Papier	rot		T	0,76	1
Papier	schwarz		T	0,90	1
Papier	schwarz, stumpf		T	0,94	1
Papier	schwarz, stumpf	70	LW	0,89	9
Papier	schwarz, stumpf	70	SW	0,86	9
Papier	weiß	20	T	0,7–0,9	1
Papier	weiß, 3 verschiedene Glanzarten	70	LW	0,88–0,90	9
Papier	weiß, 3 verschiedene Glanzarten	70	SW	0,76–0,78	9
Papier	weiß, gebunden	20	T	0,93	2
Platin		17	T	0,016	4
Platin		22	T	0,03	4
Platin		100	T	0,05	4
Platin		260	T	0,06	4
Platin		538	T	0,10	4
Platin		1000–1500	T	0,14–0,18	1
Platin		1094	T	0,18	4
Platin	Band	900–1100	T	0,12–0,17	1
Platin	Draht	50–200	T	0,06–0,07	1
Platin	Draht	500–1000	T	0,10–0,16	1
Platin	Draht	1400	T	0,18	1
Platin	rein, poliert	200–600	T	0,05–0,10	1
Porzellan	glasiert	20	T	0,92	1
Porzellan	weiß, leuchtend		T	0,70–0,75	1
rostfreier Stahl	Blech, poliert	70	LW	0,14	9

1	2	3	4	5	6
rostfreier Stahl	Blech, poliert	70	SW	0,18	9
rostfreier Stahl	Blech, unbehandelt, etwas zerkratzt	70	LW	0,28	9
rostfreier Stahl	Blech, unbehandelt, etwas zerkratzt	70	SW	0,30	9
rostfreier Stahl	gewalzt	700	T	0,45	1
rostfreier Stahl	Legierung, 8 % Ni, 18 % Cr	500	T	0,35	1
rostfreier Stahl	sandgestrahlt	700	T	0,70	1
rostfreier Stahl	Typ 18 – 8, glänzend	20	T	0,16	2
rostfreier Stahl	Typ 18-8, oxidiert bei 800 °C	60	T	0,85	2
Sand			T	0,60	1
Sand		20	T	0,90	2
Sandstein	poliert	19	LLW	0,909	8
Sandstein	rau	19	LLW	0,935	8
Schlacke	Kessel	0–100	T	0,97–0,93	1
Schlacke	Kessel	200–500	T	0,89–0,78	1
Schlacke	Kessel	600–1200	T	0,76–0,70	1
Schlacke	Kessel	1400–1800	T	0,69–0,67	1
Schmirgelpapier	grob	80	T	0,85	1
Schnee: Siehe Wasser					
Silber	poliert	100	T	0,03	2
Silber	rein, poliert	200–600	T	0,02–0,03	1
Spanplatte	unbehandelt	20	SW	0,90	6
Stukkatur	rau, gelbgrün	10–90	T	0,91	1
Styropor	Wärmedämmung	37	SW	0,60	7

1	2	3	4	5	6
Tapete	leicht gemustert, hellgrau	20	SW	0,85	6
Tapete	leicht gemustert, rot	20	SW	0,90	6
Teer			T	0,79–0,84	1
Teer	Papier	20	T	0,91–0,93	1
Titan	oxidiert bei 540 °C	200	T	0,40	1
Titan	oxidiert bei 540 °C	500	T	0,50	1
Titan	oxidiert bei 540 °C	1000	T	0,60	1
Titan	poliert	200	T	0,15	1
Titan	poliert	500	T	0,20	1
Titan	poliert	1000	T	0,36	1
Ton	gebrannt	70	T	0,91	1
Tuch	schwarz	20	T	0,98	1
Wasser	destilliert	20	T	0,96	2
Wasser	Eis, bedeckt mit starkem Frost	0	T	0,98	1
Wasser	Eis, glatt	–10	T	0,96	2
Wasser	Eis, glatt	0	T	0,97	1
Wasser	Frostkristalle	–10	T	0,98	2
Wasser	Schicht >0,1 mm dick	0–100	T	0,95–0,98	1
Wasser	Schnee		T	0,8	1
Wasser	Schnee	–10	T	0,85	2
Wolfram		200	T	0,05	1
Wolfram		600–1000	T	0,1–0,16	1
Wolfram		1500–2200	T	0,24–0,31	1
Wolfram	Faden	3300	T	0,39	1
Ziegel	Aluminiumoxid	17	SW	0,68	5

1	2	3	4	5	6
Ziegel	Dinas-Siliziu-moxid, Feuerfest-produkt	1000	T	0,66	1
Ziegel	Dinas-Siliziu-moxid, glasiert, rau	1100	T	0,85	1
Ziegel	Dinas-Siliziu-moxid, unglasiert, rau	1000	T	0,80	1
Ziegel	Feuerfestprodukt, Korund	1000	T	0,46	1
Ziegel	Feuerfestprodukt, Magnesit	1000–1300	T	0,38	1
Ziegel	Feuerfestprodukt, schwach strahlend	500–1000	T	0,65–0,75	1
Ziegel	Feuerfestprodukt, stark strahlend	500–1000	T	0,8–0,9	1
Ziegel	Feuerziegel	17	SW	0,68	5
Ziegel	glasiert	17	SW	0,94	5
Ziegel	Mauerwerk	35	SW	0,94	7
Ziegel	Mauerwerk, ver-putzt	20	T	0,94	1
Ziegel	normal	17	SW	0,86–0,81	5
Ziegel	rot, normal	20	T	0,93	2
Ziegel	rot, rau	20	T	0,88–0,93	1
Ziegel	Schamotte	20	T	0,85	1
Ziegel	Schamotte	1000	T	0,75	1
Ziegel	Schamotte	1200	T	0,59	1
Ziegel	Silizium, 95 % SiO_2	1230	T	0,66	1
Ziegel	Sillimanit, 33 % SiO_2, 64 % Al_2O_3	1500	T	0,29	1
Ziegel	wasserfest	17	SW	0,87	5

1	2	3	4	5	6
Zink	Blech	50	T	0,20	1
Zink	oxidiert bei 400 °C	400	T	0,11	1
Zink	oxidierte Oberfläche	1000–1200	T	0,50–0,60	1
Zink	poliert	200–300	T	0,04–0,05	1

A note on the technical production of this publication

This publication was produced using XML—the *eXtensible Markup Language*. For more information about XML, please visit http://www.w3.org/XML/

A note on the typeface used in this publication

This publication was typeset using Swiss 721, which is Bitstream's pan-European version of the Helvetica™ typeface. Helvetica™ was designed by Max Miedinger (1910–1980).

List of effective files

20235102.xml b18
20235202.xml b13
20235302.xml b12
20236702.xml b24
20237102.xml b12
20238502.xml a10
20238702.xml a7
20250402.xml a15
20254903.xml a62
20257002.xml a21
20257102.xml a6
20257302.xml a13
20273202.xml a11
20275202.xml a11
20279802.xml a5
20281002.xml a3
20287302.xml a4
20289002.xml a2
20289102.xml a1
20289202.xml a2
20289302.xml a3
20289402.xml a1
20289502.xml a3
20289702.xml a2
20289802.xml a1
20289902.xml a2
20290002.xml a1
20290102.xml a2
20290202.xml a3
20290302.xml a1
20290402.xml a1
20292402.xml a1
20294802.xml a2
20295102.xml a2
20295202.xml a1
R115.rcp a4
config.xml a5

Corporate Headquarters
FLIR Systems, Inc.
27700 SW Parkway Avenue
Wilsonville, OR 97070
USA
Telephone: +1-800-727-3547
Website: http://www.flir.com